



**UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID
ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR**

**DEPARTAMENTO DE TECNOLOGÍA
ELECTRÓNICA.**

PROYECTO FIN DE CARRERA

**INGENIERÍA TÉCNICA DE
TELECOMUNICACIÓN
SISTEMAS DE TELECOMUNICACIÓN**

**Autoconsumo fotovoltaico en España:
Soluciones técnicas.**

**AUTOR: Cristóbal Torres Cara
DIRECTOR: D. Vicente Salas Merino**

LEGANÉS, OCTUBRE 2015



AGRADECIMIENTOS

A mis padres, María Cara López y Antonio Torres Vílchez, por su trabajo, tesón y ejemplo. A ellos les debo todo lo que soy.

A mis abuelos Cristóbal Cara Vílchez, y María López Vílchez, por su lucha y amor incondicional por sus hijos y nietos.

A mi alma gemela Ranyert Guanipa González, por su amor y apoyo sin condiciones.

A mis amigas María Álvarez y Gema Montiel, por su fuerza y amistad. Sois mis ejemplos a seguir.

A mi tutor D. Vicente Salas Merino, por su dedicación, disposición y ayuda.

Gracias a todos.



ÍNDICE

| | |
|---|-----------|
| ÍNDICE DE ILUSTRACIONES..... | 5 |
| ÍNDICE DE TABLAS | 10 |
| OBJETIVOS | 11 |
| CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN: SITUACIÓN ACTUAL DE LA ENERGÍA FOTOVOLTAICA. | 12 |
| 1.1 SITUACIÓN GLOBAL ACTUAL | 12 |
| 1.2 EL EFECTO INVERNADERO | 14 |
| 1.3 FUENTES DE ENERGÍA RENOVABLES | 17 |
| 1.4 USO DE LAS ENERGÍAS RENOVABLES EN ESPAÑA | 19 |
| 1.5 LA ENERGÍA FOTOVOLTAICA | 23 |
| 1.6 LA ENERGÍA FOTOVOLTAICA EN ESPAÑA | 27 |
| 1.7 LA NORMATIVA SOBRE ENERGÍA FOTOVOLTAICA EN ESPAÑA | 31 |
| CAPÍTULO 2. SISTEMA FOTOVOLTAICOS: ELEMENTOS Y TIPOS. | 35 |
| 2.1 ELEMENTOS DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO | 35 |
| 2.2.1 GENERADOR FOTOVOLTAICO | 36 |
| 2.2.2 REGULADOR | 44 |
| 2.2.3 INVERSOR | 45 |
| 2.2.4 BATERÍA | 46 |
| 2.3 TIPOS DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS | 48 |
| 2.3.1 SISTEMAS FOTOVOLTAICOS AISLADOS | 48 |
| 2.3.2 SISTEMAS FOTOVOLTAICOS CONECTADOS A RED | 48 |
| 2.3.3 SISTEMAS FOTOVOLTAICOS HÍBRIDOS | 51 |
| CAPÍTULO 3. AUTOCONSUMO FOTOVOLTAICO: TOPOLOGÍAS Y ELEMENTOS. SITUACIÓN ACTUAL. | 53 |
| 3.1 TOPOLOGÍAS | 54 |
| 3.2 ELEMENTOS DE UN SISTEMA DE AUTOCONSUMO FOTOVOLTAICO | 56 |
| 3.2.1 BATERÍAS TESLA | 56 |
| 3.3 BALANCE NETO | 57 |
| 3.4 AUTOCONSUMO FOTOVOLTAICO EN EL MUNDO | 59 |
| 3.5 AUTOCONSUMO FOTOVOLTAICO EN ESPAÑA | 66 |
| 3.5.1 LEGISLACIÓN DEL AUTOCONSUMO FOTOVOLTAICO EN ESPAÑA | 67 |
| 3.6 PERSPECTIVA FUTURA | 74 |
| CAPÍTULO 4. SIMULACIONES DE AUTOCONSUMO: ANÁLISIS Y RESULTADOS. | 76 |
| 4.1 SIMULADOR iHOGA 2.2 | 77 |



| | |
|---|------------|
| 4.2 CASOS DE ESTUDIO | 78 |
| 4.3 CONDICIONES DE LAS SIMULACIONES..... | 80 |
| 4.4 CÁLCULO Y RESULTADOS DE LAS SIMULACIONES | 98 |
| 4.4.1 ZONA DE RADIACIÓN 1. OVIEDO | 99 |
| 4.4.2 ZONA DE RADIACIÓN 2. OURENSE | 110 |
| 4.4.3 ZONA DE RADIACIÓN 3. GIRONA | 120 |
| 4.4.4 ZONA DE RADIACIÓN 4. JAÉN..... | 130 |
| 4.4.5 ZONA DE RADIACIÓN 5. ALBACETE..... | 140 |
| CAPÍTULO 5. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS..... | 150 |
| 5.1 COMPARATIVA DE RESULTADOS..... | 150 |
| 5.1.1 COMPARATIVAS POR COSTE | 150 |
| 5.1.2 COMPARATIVAS POR EMISIONES Y FACTOR HUMANO | 153 |
| 5.1.3 COMPARATIVAS POR BALANCE DE ENERGÍA..... | 155 |
| 5.1.4 COMPARATIVAS DE ELEMENTOS DEL SISTEMA | 156 |
| 5.2 CONCLUSIONES FINALES | 157 |
| 5.3 TRABAJOS FUTUROS | 158 |
| REFERENCIAS..... | 160 |
| ANEXO I – ESTUDIO ENERGÉTICO DE LOS SISTEMAS ÓPTIMOS. | 165 |
| ANEXO II – MÉTODOS DE OPTIMIZACIÓN EN IHOGA 2.2..... | 172 |
| ANEXO III – ANÁLISIS ECONÓMICO | 174 |

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

| | |
|--|----|
| Ilustración 1. Porcentajes del origen del consumo energético mundial en 2013. Fuente: BP. Modificado..... | 12 |
| Ilustración 2. Porcentajes según origen del consumo energético por zonas globales. Fuente BP. Modificado..... | 13 |
| Ilustración 3. Consumo energético global en mtoe (equivalente en millones de toneladas de petróleo). Fuente: BP | 14 |
| Ilustración 4 Explicación gráfica del efecto invernadero. Fuente: CEA, CAEC, CMM | 16 |
| Ilustración 5. Miles de toneladas de petróleo equivalentes de energía primaria en España, según origen. Porcentajes según origen de la generación de energía primaria. Año 2013.Fuente IDAE..... | 19 |
| Ilustración 6. Porcentaje de generación de energía desde fuentes renovables en España. Año 2013. Fuente: MINETUR | 20 |
| Ilustración 7. Estimación de puestos de trabajo en España, relacionados con energía renovable.Fuente:IRENA | 22 |
| Ilustración 8. Vista panorámica del huerto solar de una central fotovoltaica..... | 23 |
| Ilustración 9. Vista aérea de un centro comercial con instalación fotovoltaica | 24 |
| Ilustración 10. Instalación fotovoltaica en el tejado de un domicilio particular..... | 25 |
| Ilustración 11. Evolución de la capacidad global de la energía fotovoltaica, instalada en 2013. Fuente: EPLA | 26 |
| Ilustración 12. Evolución de la nueva generación de energía fotovoltaica, en el mundo. Fuente EPLA | 27 |
| Ilustración 13. Potencia y Energía Fotovoltaica instalada en España, según CNMC | 29 |
| Ilustración 14. Evolución de la potencia fotovoltaica instalada, por CCAA. Fuente CNMC | 30 |
| Ilustración 15. Desglose de las instalaciones GFV en España, por facturación y su adhesión a las normas. Fuente CNMC | 34 |
| Ilustración 16. Esquema de un sistema fotovoltaico simple..... | 35 |
| Ilustración 17. Esquema de una célula fotovoltaica. | 37 |
| Ilustración 18. Curva PV y curva IV de una célula fotovoltaica..... | 38 |
| Ilustración 19. Curvas I-V para distintos valores de irradiancia, a temperatura constante de 25°C | 39 |
| Ilustración 20. Curvas I-V para distintas temperatura con un valor fijo de irradiancia solar (1000 W/m2) | 39 |
| Ilustración 21. Célula solar de silicio monocristalino | 40 |
| Ilustración 22. Célula de silicio policristalino | 41 |
| Ilustración 23. Estructura de una célula String Ribbon | 42 |
| Ilustración 24. Células fotovoltaicas de concentración | 42 |
| Ilustración 25. Asociación de células solares. | 43 |
| Ilustración 26. Ángulos de orientación de un panel fotovoltaico | 44 |
| Ilustración 27. Inversor en un esquema de sistema fotovoltaico | 45 |
| Ilustración 28. Gráficas de autodescarga de la batería, dependiendo de la temperatura | 47 |

| | |
|---|----|
| Ilustración 29. Sistema fotovoltaico conectado a red | 49 |
| Ilustración 30. Paneles fotovoltaicos en el tejado de una vivienda | 49 |
| Ilustración 31. Vista aérea de la central fotovoltaica de Amareleja (Portugal) | 49 |
| Ilustración 32. Potencia generada y consumida por un edificio con instalación fotovoltaica | 50 |
| Ilustración 33. Esquema de un sistema fotovoltaico conectado a la red | 51 |
| Ilustración 34. Esquema de sistema fotovoltaico híbrido..... | 52 |
| Ilustración 35. Esquema de un Sistema Autónomo con conexión a red..... | 55 |
| Ilustración 36. Prototipo de Batería Powerwall de Tesla. | 57 |
| Ilustración 37. Curva de consumo y producción eléctrica, con el consumo neto. Fuente:UNEF..... | 58 |
| Ilustración 38. Mapa del Autoconsumo en EEUU, con valores de límites de generación en kW residencial e industrial. Fuente: DSIRE..... | 59 |
| Ilustración 39. Evolución del cumplimiento del 20% de energía renovable, para España y la UE. Fuente: Eurostat..... | 62 |
| Ilustración 40. Comparativa de las condiciones para el autoconsumo en países de la UE. Fuente: SunEdison..... | 65 |
| Ilustración 41. Barreras al autoconsumo en Europa, según SunEdison. Modificado.... | 66 |
| Ilustración 42. Radiación Acumulada Promedio en Europa. Según el IET de la UE | 76 |
| Ilustración 43. Esquema con todos los elementos disponibles en iHoga 2.2 | 77 |
| Ilustración 44. Mapa de las zonas de radiación en España..... | 78 |
| Ilustración 45. Página web de la NASA con los valores de radiación solar por meses, para una de las localizaciones..... | 80 |
| Ilustración 46. Esquema común del sistema autónomo fotovoltaico. | 81 |
| Ilustración 47. Tabla con los paneles fotovoltaicos incluidos en el estudio de optimización. | 82 |
| Ilustración 48. Panel de selección de modelos y características de los paneles solares en la simulación..... | 82 |
| Ilustración 49. Valores medios de inflación y variación de precios para el estudio de amortización de los paneles fotovoltaicos | 83 |
| Ilustración 50. Ajustes del seguimiento de potencia MPPT..... | 83 |
| Ilustración 51. Parámetros de radiación sobre los paneles fotovoltaicos, en los casos de estudio..... | 84 |
| Ilustración 52. Tabla de optimización de la inclinación de los paneles, según el patron anual de irradiación y consumo | 84 |
| Ilustración 53. Sombreado de los paneles fotovoltaicos, con obstáculos en altura y porcentaje de pérdida de radiación directa, según el rango de azimut. | 85 |
| Ilustración 54. Irradiación media mensual en superficie horizontal, para el caso de estudio. | 86 |
| Ilustración 55. Comparativa de la radiación sobre el panel en modo horizontal o inclinado, para un día. | 86 |
| Ilustración 56. Comparativa de la radiación horizontal y sobre plano inclinado, anual. 86 | |
| Ilustración 57. Menú de cálculo de recursos por irradiación..... | 87 |
| Ilustración 58. Menú de selección de Baterías. | 89 |

| | |
|--|-----|
| Ilustración 59. Ciclos de vida y Energía, con respecto a la profundidad de carga de un modelo de batería..... | 89 |
| Ilustración 60. Inflación media y variación de los precios de las baterías. | 90 |
| Ilustración 61. Opciones de predimensionado..... | 90 |
| Ilustración 62. Potencias máximas recomendadas para predimensionar el proyecto..... | 91 |
| Ilustración 63. Menú del Regulador de Carga de las baterías. | 91 |
| Ilustración 64. Menú de selección de inversor. | 92 |
| Ilustración 65. Datos generales de los inversores adecuados a este proyecto | 92 |
| Ilustración 66. Curva de eficiencia para potencia de salida proporcionada por el inversor. | 93 |
| Ilustración 67. Características del inversor según las condiciones de potencia del sistema. | 93 |
| Ilustración 68. El consumo diario está limitado a 10kWh..... | 94 |
| Ilustración 69. Perfiles de consumo disponibles en iHoga 2.2..... | 94 |
| Ilustración 70. Factor de escala del consumo diario..... | 95 |
| Ilustración 71. Panel de aleatoriedad del consumo, diario y horario..... | 95 |
| Ilustración 72. Panel de compra venta de electricidad | 95 |
| Ilustración 73. Ajuste económico de la compra-venta de electricidad en este estudio. . | 96 |
| Ilustración 74. Optimización mono-objetivo..... | 97 |
| Ilustración 75. Estrategia de control del sistema | 97 |
| Ilustración 76. Profundidad máxima de descarga de las baterías SLI y tubular..... | 98 |
| Ilustración 77. Parámetros económicos del sistema autónomo | 98 |
| Ilustración 78. Radiación horaria y diaria, por meses, para la localidad de la zona I. . | 100 |
| Ilustración 79. Perfil de consumo horario residencial convencional AC | 101 |
| Ilustración 80. Número máximo de paneles en paralelo para satisfacer la demanda. Zona 1. Perfil Residencial..... | 101 |
| Ilustración 81. Casos de estudio para zona I y perfil residencial. | 102 |
| Ilustración 82. Resumen de las mejores combinaciones encontradas para el estudio de la zona I, perfil Residencial | 102 |
| Ilustración 83. Perfil de la demanda por horas y meses del perfil Consumo Elevado AC | 104 |
| Ilustración 84. Número máximo de paneles en paralelo para satisfacer la demanda. Zona 1. Perfil Consumo elevado | 105 |
| Ilustración 85. Casos de estudio para zona I y perfil elevado | 105 |
| Ilustración 86. Resumen de las mejores combinaciones encontradas para el estudio de la zona I, perfil C. elevado..... | 105 |
| Ilustración 87. Perfil de la demanda por horas y meses del perfil consumo en oficina | 107 |
| Ilustración 88. Número máximo de paneles en paralelo para satisfacer la demanda. Zona 1. Perfil consumo en oficina | 107 |
| Ilustración 89. Casos de estudio para zona I y perfil consumo en oficina. | 108 |
| Ilustración 90. Resumen de las mejores combinaciones encontradas para el estudio de la zona I, perfil C. oficina..... | 108 |
| Ilustración 91. Perfil de radiación horaria, por meses. Para la zona II..... | 110 |

| | |
|--|-----|
| Ilustración 92. Perfil de la demanda por horas y meses del perfil consumo residencial | 111 |
| Ilustración 93. Número máximo de paneles en paralelo para satisfacer la demanda. Zona II. Perfil consumo residencial | 111 |
| Ilustración 94. Casos de estudio para zona II y perfil consumo residencial..... | 112 |
| Ilustración 95. Resumen de las mejores combinaciones encontradas para el estudio de la zona II, perfil residencial de consumo..... | 112 |
| Ilustración 96. Perfil de la demanda por horas y meses del perfil consumo elevado... | 114 |
| Ilustración 97. Número máximo de paneles en paralelo para satisfacer la demanda. Zona II. Perfil consumo elevado | 114 |
| Ilustración 98. Casos de estudio para zona II y perfil consumo elevado..... | 115 |
| Ilustración 99. Resumen de las mejores combinaciones encontradas para el estudio de la zona II, perfil de consumo elevado..... | 115 |
| Ilustración 100. Perfil de la demanda por horas y meses del perfil consumo en oficina | 117 |
| Ilustración 101. Número máximo de paneles en paralelo para satisfacer la demanda. Zona II. Perfil consumo en oficina..... | 117 |
| Ilustración 102. Casos de estudio para zona II y perfil consumo en oficina | 118 |
| Ilustración 103. Resumen de las mejores combinaciones encontradas para el estudio de la zona II, perfil C. oficina..... | 118 |
| Ilustración 104. Radiación horaria y diaria, por meses, para la localidad de la zona III. | 120 |
| Ilustración 105. Perfil de la demanda por horas y meses del perfil consumo residencial. | 121 |
| Ilustración 106. Número máximo de paneles en paralelo para satisfacer la demanda. Zona III. Perfil consumo doméstico..... | 121 |
| Ilustración 107. Casos de estudio para zona III y perfil consumo residencial. | 122 |
| Ilustración 108. Resumen de las mejores combinaciones encontradas para el estudio de la zona III, perfil de consumo residencial..... | 122 |
| Ilustración 109. Perfil de la demanda por horas y meses del perfil consumo elevado. | 124 |
| Ilustración 110. Número máximo de paneles en paralelo para satisfacer la demanda. Zona III. Perfil consumo elevado..... | 124 |
| Ilustración 111. Casos de estudio para zona III y perfil consumo elevado. | 124 |
| Ilustración 112. Resumen de las mejores combinaciones encontradas para el estudio de la zona III, perfil consumo elevado. | 125 |
| Ilustración 113. Perfil de la demanda por horas y meses del perfil consumo en oficina | 127 |
| Ilustración 114. Número máximo de paneles en paralelo para satisfacer la demanda. Zona III. Perfil consumo en oficina | 127 |
| Ilustración 115. Casos de estudio para zona III y perfil consumo en oficina..... | 128 |
| Ilustración 116. Perfil de irradiación diaria, a partir de los datos mensuales, para el caso de la zona IV..... | 130 |
| Ilustración 117. Perfil de la demanda por horas y meses del perfil consumo residencial. | 131 |

| | |
|---|-----|
| Ilustración 118. Número máximo de paneles en paralelo para satisfacer la demanda. Zona IV. Perfil consumo residencial..... | 131 |
| Ilustración 119. Casos de estudio para zona IV y perfil consumo residencial. | 132 |
| Ilustración 120. Resumen de las mejores combinaciones encontradas para el estudio de la zona IV, perfil residencial..... | 132 |
| Ilustración 121. Perfil de la demanda por horas y meses del perfil consumo elevado. | 134 |
| Ilustración 122. Número máximo de paneles en paralelo para satisfacer la demanda. Zona IV.. Perfil consumo elevado. | 134 |
| Ilustración 123. Casos de estudio para zona IV y perfil consumo elevado. | 135 |
| Ilustración 124. Resumen de las mejores combinaciones encontradas para el estudio de la zona IV, perfil consumo elevado. | 135 |
| Ilustración 125. Perfil de la demanda por horas y meses del perfil consumo en oficina | 137 |
| Ilustración 126. Número máximo de paneles en paralelo para satisfacer la demanda. Zona IV. Perfil consumo en oficina | 137 |
| Ilustración 127. Casos de estudio para zona IV y perfil consumo en oficina..... | 137 |
| Ilustración 128. Resumen de las mejores combinaciones encontradas para el estudio de la zona IV, perfil C. oficina | 138 |
| Ilustración 129. Radiación horaria a partir del perfil mensual, para la zona V..... | 140 |
| Ilustración 130. Perfil de consumo residencial..... | 141 |
| Ilustración 131. Número máximo de paneles en paralelo para satisfacer la demanda. Zona V. Perfil consumo residencial..... | 141 |
| Ilustración 132. Casos de estudio para zona V y perfil consumo residencial.. | 141 |
| Ilustración 133. Perfil de la demanda por horas y meses del perfil consumo elevado. | 144 |
| Ilustración 134. Número máximo de paneles en paralelo para satisfacer la demanda. Zona V. Perfil consumo elevado..... | 144 |
| Ilustración 135. Casos de estudio para zona I y perfil consumo elevado. | 144 |
| Ilustración 136. Perfil de la demanda por horas y meses del perfil consumo en oficina. | 147 |
| Ilustración 137. Número máximo de paneles en paralelo para satisfacer la demanda. Zona V. Perfil consumo en oficina | 147 |
| Ilustración 138. Casos de estudio para zona V y perfil consumo en oficina. | 147 |
| Ilustración 139. Perfiles de consumo en iHoga 2.2 | 158 |
| Ilustración 140. Simulación horaria de la enegía del sistema. Zona I. Perfil Residencial AC..... | 166 |
| Ilustración 141. Gráficas horarias de la energía generada y consumida. Zona I Perfil Residencial AC | 166 |
| Ilustración 142. Potencia media mensual y generación de electricidad para sistema Zona I. Perfil Residencial AC..... | 167 |
| Ilustración 143. Gráficas mensuales de la energía generada y consumida. Zona I Perfil Residencial AC | 167 |
| Ilustración 144. Simulación horaria de la enegía del sistema. Zona I. Perfil Elevado AC | 168 |

| | |
|---|-----|
| Ilustración 145. Gráficas horarias de la energía generada y consumida. Zona I Perfil Elevado AC | 168 |
| Ilustración 146. Potencia media mensual y generación de electricidad para sistema Zona I. Perfil Elevado AC | 169 |
| Ilustración 147. Gráficas mensuales de la energía generada y consumida. Zona I Perfil Elevado AC | 169 |
| Ilustración 148. Simulación horaria de la enegía del sistema. Zona I. Perfil Oficina AC | 170 |
| Ilustración 149. Gráficas horarias de la energía generada y consumida. Zona I Perfil Elevado AC | 170 |
| Ilustración 150. Potencia media mensual y generación de electricidad para sistema Zona I. Perfil Oficina AC | 171 |
| Ilustración 151. Gráficas mensuales de la energía generada y consumida. Zona I Perfil Oficina AC..... | 171 |
| Ilustración 152. Ventana de Parámetros de Optimización | 173 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|---|-----|
| Tabla 1. Generación de electricidad (en GWh) a partir de fuentes renovables en España, según REE, para el año 2013..... | 21 |
| Tabla 2. Tipos convencionales de células fotovoltaicas..... | 41 |
| Tabla 3. Comparativa de los principales tipos de baterías | 47 |
| Tabla 4. Comparativa de baterías plomo-ácido | 48 |
| Tabla 5. Radiación Solar media anual sobre una superficie horizontal..... | 79 |
| Tabla 6. Localidades para el estudio de radiación, por zonas, con sus coordenadas. | 79 |
| Tabla 7. Ángulo de inclinación óptimo para cada caso de estudio..... | 87 |
| Tabla 8. Comparativa económica de los sistemas autónomos estudiados..... | 150 |
| Tabla 9. Comparativa de emisiones y factor humano para los diferentes casos de S. Autónomos | 153 |
| Tabla 10. Energía generada, inyectada, consumida y almacenada para el sist. óptimo de cada zona. | 155 |
| Tabla 11. Comparativa de los elementos de los diferentes sistemas estudiados, por zonas. | 156 |

OBJETIVOS

Este proyecto tiene como objetivo el estudio y análisis de la situación actual del Autoconsumo Fotovoltaico, focalizado en España.

Para ello, se analizan diferentes aspectos del Autoconsumo, que van desde su estudio tecnológico, a su situación legal y administrativa, y a la implementación en casos concretos de nuestra geografía.

En primer lugar expone una panorámica general sobre la situación actual del Autoconsumo Fotovoltaico, a partir de las tecnologías existentes, y la legislación que lo regula, a nivel global y nacional.

Después se analiza las distintas tecnologías y topologías de los Sistemas Fotovoltaicos en la actualidad, comparando sus ventajas y aplicaciones.

Por último, se ha realizado la simulación de casos concretos de Autoconsumo Fotovoltaico localizado en diferentes zonas del país. Con los resultados podemos responder a las cuestiones sobre viabilidad y rentabilidad del Autoconsumo.

Todos estos puntos en su conjunto, nos aportarán una visión amplia y clara de la panorámica actual del Autoconsumo Fotovoltaico.

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN: SITUACIÓN ACTUAL DE LA ENERGÍA FOTOVOLTAICA.

Este capítulo presenta la Energía Solar Fotovoltaica, como una energía renovable de presente y futuro.

Expone el problema energético actual, y el climático asociado al primero. Y la búsqueda de fuentes alternativas y renovables de energía

Se explica en qué consiste la Energía Solar Fotovoltaica y cuál es su implementación actual, a nivel global, y sobre todo a nivel nacional. Así como la situación legal y administrativa de la Energía Fotovoltaica, según las leyes internacionales y del Estado Español.

1.1 SITUACIÓN GLOBAL ACTUAL

El crecimiento y desarrollo de la Civilización, está basado en el aumento progresivo del consumo de energía.

En la actualidad, aún depende en gran medida del uso de recursos fósiles (79,40% del consumo total en 2013). Si es bien que las energías renovables van avanzando año tras año, hasta alcanzar un 19% globalmente.

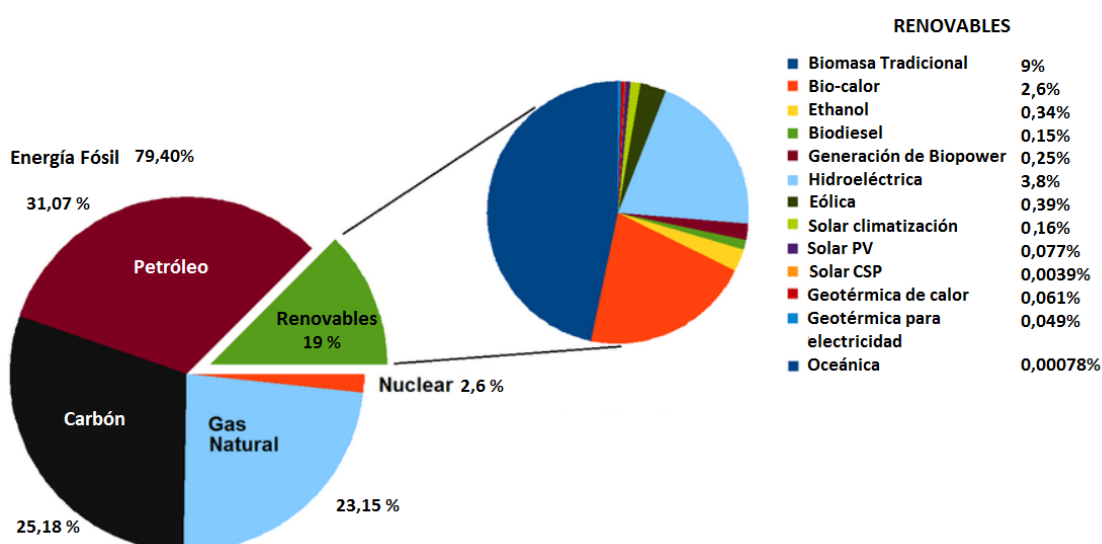


Ilustración 1. Porcentajes del origen del consumo energético mundial en 2013. Fuente: BP. Modificado

Entre las energías no renovables, destaca el uso del petróleo como principal fuente de energía (con más del 30%), y el carbón como secundaria, con más del 25% del total.

Las energías renovables alcanzan el 19% en sus múltiples variantes, como son la eólica, la hidroeléctrica, y la energía solar o fotovoltaica. Ésta última, representa ya el 1% de la energía total consumida por el ser humano.

Por zonas globales, podemos ver, en el siguiente gráfico, la distribución en porcentajes del consumo de energía según su origen:

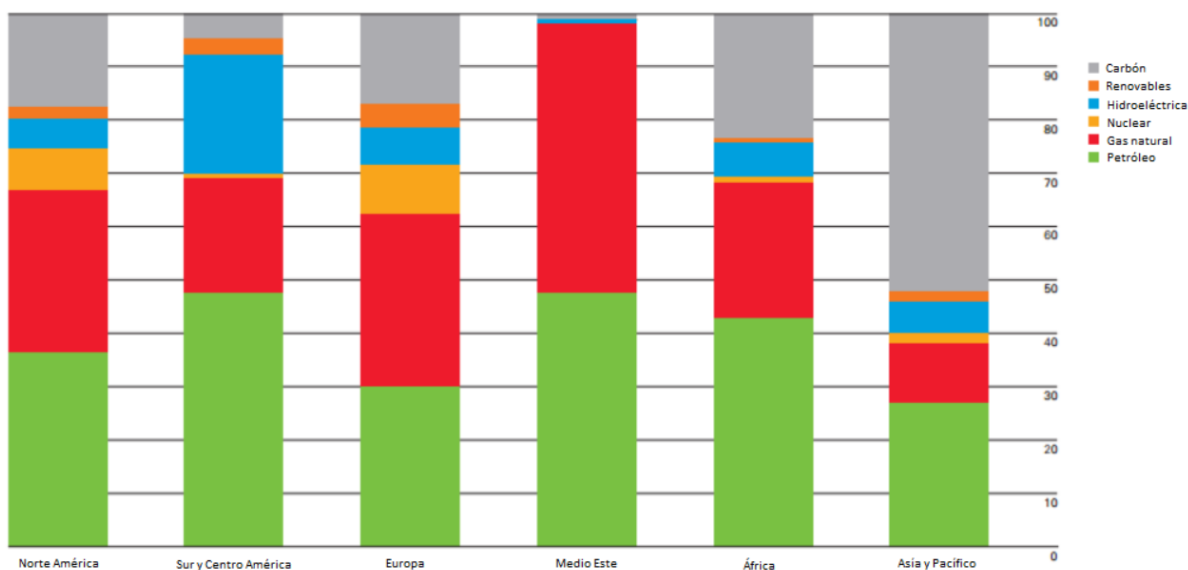


Ilustración 2. Porcentajes según origen del consumo energético por zonas globales. Fuente BP. Modificado

Se muestra claramente, una dependencia alta del petróleo, el carbón y el gas natural, como principales fuentes de energía, en todas las zonas del planeta.

En zonas como **Oriente Medio**, la dependencia es casi del 100%, debido a la mucha producción de recursos fósiles, y a la poca inversión en energías renovables.

Llama la atención que zonas desarrolladas como **Europa y América del Norte**, sigan dependiendo de las energías no renovables en más de un 75%.

Sin embargo, hay razones para el optimismo, ya que la concienciación de ciudadanos y Gobiernos, está fomentando tanto el razonamiento del consumo eléctrico, como la utilización de fuentes de energía renovables. De ahí el crecimiento constante de utilización de renovables, hasta el **19% en 2013**.

Además, zonas en vía de desarrollo, como **América Central y Sur**, a pesar de su alto consumo en petróleo (del que también son productores), se apuesta por energías renovables, como la Fotovoltaica y la Hidroeléctrica.

Sin embargo, el mundo solicita cada vez más energía, y el aumento de demanda va hasta hoy, asociado a un aumento de la producción de energía a partir de recursos fósiles.

Como muestra el siguiente gráfico, la demanda a partir del año 2000, **ha aumentado un 30 % en los últimos 15 años**:

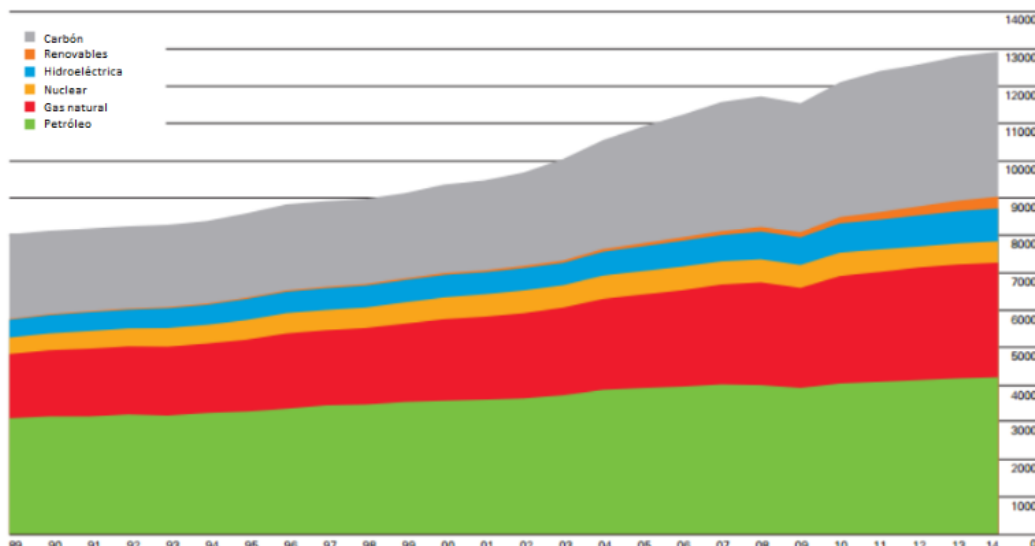


Ilustración 3. Consumo energético global en mtoe (equivalente en millones de toneladas de petróleo). Fuente: BP

La fuerte industrialización de países asiáticos, como China y Taiwán, ha hecho que aumente el uso de carbón para generar energía eléctrica, con el consiguiente aumento en el total de consumo de energía no renovable.

El uso de petróleo como fuente de energía, también crece, pero de un modo menos pronunciado.

En cuanto a las energías renovables, experimentan un importante aumento estable, más pronunciado en los años posteriores a la crisis financiera de 2008.

A la luz de todos estos datos, la conclusión es clara. Las energías renovables son un futuro que está ya afianzándose en el panorama mundial de la Energía, pero aún queda un largo camino hasta eliminar totalmente la dependencia de energías no renovables.

1.2 EL EFECTO INVERNADERO

La atmósfera terrestre está compuesta por la mezcla de varios gases. Los más abundantes son el nitrógeno y el oxígeno. El resto (menos del 1%), son gases llamados "de efecto invernadero": dióxido de carbono, metano, dióxido de nitrógeno, etc.



CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN A LA E. FOTOVOLTAICA

Dichos gases de invernadero son vitales para nuestra supervivencia: permiten que la luz solar que llega a la Tierra, se refleje y permanezca dentro de la atmósfera sin volver al espacio, contribuyendo a la subida de la temperatura del planeta (unos 30°C más que si no existiera), permitiendo así la vida en el mismo.

Sin embargo, al aumentar la cantidad de gases en la atmósfera que producen el efecto invernadero, mayor cantidad de los rayos infrarrojos son retenidos, provocando que se eleve la temperatura del planeta por encima del valor óptimo.

El aumento en la utilización de combustibles fósiles hace que los niveles naturales de CO₂ (dióxido de carbono) que emitimos a la atmósfera se incrementen, lo que provoca un **efecto invernadero reforzado**, que se traduce en el calentamiento de la superficie terrestre y de la atmósfera.

Las cantidades de CO₂ que emitimos a la atmósfera originan más del 60% del Efecto Invernadero reforzado.

La temperatura media de la superficie terrestre ha aumentado 0,6°C en los últimos años. Y se prevé que haya un aumento de hasta 5,8°C a comienzos del siglo XXII.

La tala indiscriminada de árboles, ayuda al aumento de los gases de Efecto Invernadero en la atmósfera, ya que la masa forestal mundial restante es incapaz de absorber todo el CO₂ producido por el hombre.

El cambio climático trae consigo muchos problemas, ya que destruye el equilibrio climático actual:

- Fuerza la extinción masiva de especies.
- Produce el aumento del nivel del mar, destruyendo ecosistemas enteros
- Disminuye las capas de hielo en los polos, destruyendo el hábitat polar.
- Provoca inundaciones y aguaceros torrenciales en zonas no tropicales
- Provoca sequías más fuertes en zonas pobladas, como el sur de Europa.

El nivel del mar aumentó entre **10 y 20 centímetros** durante el siglo XX y se prevé que llegará a aumentar unos 88 centímetros a principios del siglo XXII. Ello provocará la inundación de zonas densamente pobladas como Tokio, Nueva York, o la costa Mediterránea,

Finalmente provocará un éxodo migratorio sin precedentes, con consecuencias económicas y sociales imprevisibles.

Balance de Energía en el Sistema Climático Terrestre

El flujo de energía solar que llega al exterior de la atmósfera es una cantidad fija, llamada **constante solar**. Su valor es de alrededor de $1,4 \cdot 10^3 \text{ W/m}^2$ (1354 Watios por metro cuadrado según estudios, $1370 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ según otros), lo que significa que a 1 m² situado en la parte externa de la atmósfera, perpendicular a la línea que une la Tierra al Sol, le llegan algo menos que $1,4 \cdot 10^3 \text{ J}$ cada segundo

De flujo total de radiación solar (o de onda corta) que llegan a la atmósfera:

- 24% son absorbidas por ésta: el O₃ estratosférico y el vapor de agua troposférico absorben el 20%, y el agua líquida en las nubes 4%
- La superficie de los océanos y los continentes absorben el 46%
- Las 30% restantes son reflejadas hacia el espacio exterior: las nubes reflejan el 17%, la superficie del planeta 6%, y los gases que componen la atmósfera, el 8% restante.

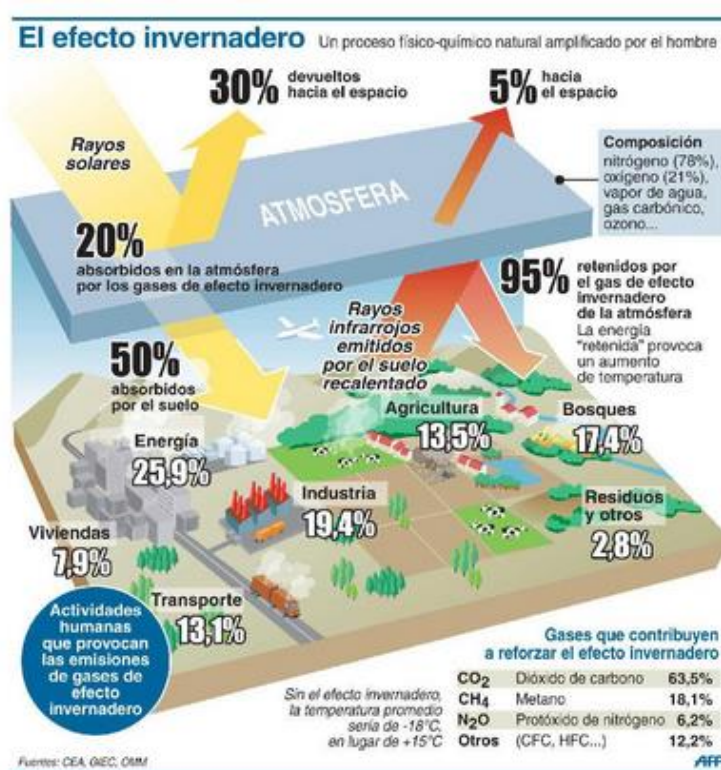


Ilustración 4 Explicación gráfica del efecto invernadero. Fuente: CEA, CAEC, CMM

La energía absorbida por el sistema climático es convertida en calor, y es la responsable en gran medida, de los movimientos de aire y de los océanos.

Por tanto, la alteración de este equilibrio de intercambio de energía se traduce en cambios más bruscos de las corrientes de aire y marinas, lo que produce aguaceros y sequías. A la vez que la subida media de temperatura, causa el deshielo de los polos, y aumenta la masa de agua de los océanos.

Rompiendo así, para siempre, el equilibrio climático.



CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN A LA E. FOTOVOLTAICA

El protocolo de Kioto

El protocolo de Kioto fue establecido en 1997. Es un tratado internacional cuyo objetivo principal es lograr que para el periodo 2008-2012, los países desarrollados disminuyan sus emisiones de gases de efecto invernadero un 5% menos del nivel de emisiones de 1990.

El Protocolo de Kioto entró en vigencia el 16 de febrero de 2005, cuando se cumplió con la condición de ser ratificado por el 55% de los países firmantes, de modo que se adhieren los países cuyas emisiones combinadas de CO₂ superan el 55% del total. Estados Unidos (que genera el 36% del total de los países desarrollados) aún no lo había ratificado.

La Unión Europea se comprometió a reducir sus emisiones totales medias durante el periodo 2008-2012 en un 8 % respecto de las de 1990. A cada país se le otorgó un margen distinto en función de diversas variables económicas y medioambientales según el principio de “reparto de la carga”. Así Alemania debería reducir un 21%, Reino Unido un 12,5% y España podría aumentar hasta el 15%.

Sin embargo no se ha cumplido ninguna de las promesas. En el caso particular de España, se ha incrementado más de un 42,7% la emisión, con respecto a 1990.

La decimoctava Conferencia de las Partes (COP 18) sobre cambio climático ratificó el segundo periodo de vigencia del Protocolo de Kioto desde el 1 de enero de 2013 hasta el 31 de diciembre de 2020.

A pesar del poco apoyo dado por países como Estados Unidos, Rusia y Canadá, el Protocolo es una oportunidad para avanzar en el desarrollo de tecnologías alternativas a las energías no renovables.

Supone el mayor apoyo para el desarrollo de nuevas tecnologías de energía renovable, y su implantación en países en vías de desarrollo.

Ellos son, junto zonas más concienciadas, como la Unión Europea, quienes deben liderar el cambio por un futuro sostenible.

1.3 FUENTES DE ENERGÍA RENOVABLES

Las fuentes renovables de energía están basadas en los flujos y ciclos naturales del planeta. Por tanto, se regeneran y son tan abundantes que perdurarán miles de años.

Usadas con responsabilidad no destruyen el medio ambiente, como lo hacen las energías no renovables, basadas en la combustión de recursos fósiles.



CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN A LA E. FOTOVOLTAICA

Incrementar el uso de las energías renovables, asegura una generación de electricidad sostenible a largo plazo, reduciendo la emisión de CO₂.

La electricidad, calefacción o refrigeración generadas por las fuentes de energías renovables, consiguen el aprovechamiento de los recursos naturales como el sol, el viento, los residuos agrícolas u orgánicos, el calor de la superficie terrestre, etc.

Además, aplicadas de manera socialmente responsable, ofrecen oportunidades de empleo en zonas rurales y urbanas y promueven el desarrollo de tecnologías locales.

Tipos de Energías Renovables

Las más conocidas y utilizadas a día de hoy son las siguientes:

Energía solar fotovoltaica: La energía radiada por el sol se transforma en electricidad mediante células fotovoltaicas, aprovechando las propiedades de los materiales semiconductores. El material base para la fabricación de la mayoría de las células fotovoltaicas es el silicio.

La eficiencia de conversión de estos sistemas es de alrededor de 15%.

Hoy en día está muy presente en el autoconsumo doméstico y cada día más, en el industrial.

Energía eólica: El viento contiene energía cinética que puede convertirse en energía mecánica o eléctrica por medio de aeroturbinas, las cuales están integradas en aerogeneradores (formados por aspas y una torre).

La energía eólica requiere condiciones de intensidad y regularidad en el régimen de vientos para poder aprovecharlos: velocidades promedio entre 5 y 12.5 metros por segundo.

Es la fuente de energía que está creciendo más rápidamente: se estima que podría cubrir en el 2020 el 12% de la producción de toda la electricidad mundial.

Energía hidroeléctrica: Aprovecha la energía potencial acumulada en las masas de agua elevadas. Se produce a gran escala usando embalses, pero también es posible producirla a escala más reducida con plantas instaladas en el curso del río.

Fue una energía muy utilizada en el entorno rural, antes de la generalización del tendido eléctrico desde grandes centrales.

Hoy en día es muy utilizada en países con grandes recursos hidráulicos como Egipto, Venezuela o Brasil.

Biogás: El biogás es un gas combustible que se genera en medios naturales, por las reacciones de biodegradación de la materia orgánica, mediante la acción de microorganismos, (bacterias metanogénicas, etc.), en ausencia de aire (ambiente anaeróbico).

Biomasa: a partir de recursos biológicos se obtiene combustible. La energía de biomasa que procede de la madera, residuos agrícolas y estiércol, continúa siendo la fuente principal de energía en las zonas en desarrollo.

Geotérmica La energía geotérmica es aquella energía que puede ser obtenida mediante el aprovechamiento del calor del interior de la Tierra.

1.4 USO DE LAS ENERGÍAS RENOVABLES EN ESPAÑA

España ha impulsado desde comienzos del siglo XXI, un **Plan de Fomento de las Energías Renovables (2000-2010)** cuyo objetivo era para alcanzar la generación del 30% de la electricidad consumida en el país, a partir de fuentes de energía renovable. Dicho objetivo finalmente se alcanzó con un 35% del total de la demanda.

En cuanto a la demanda de energía primaria, se ha alcanzado el 6,6% en el año 2013:

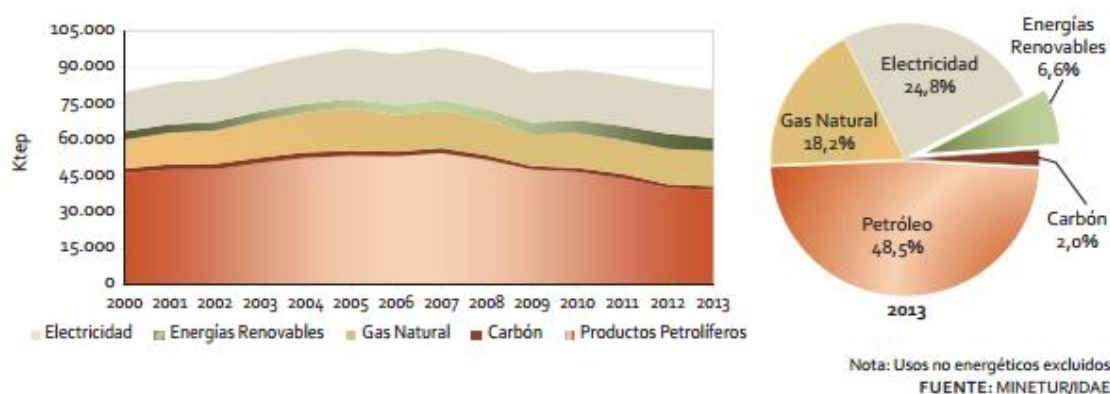


Ilustración 5. Miles de toneladas de petróleo equivalentes de energía primaria en España, según origen. Porcentajes según origen de la generación de energía primaria. Año 2013. Fuente IDAE

Dentro de las energías renovables, la energía eólica es la que mayor impulso ha tomado, representando más de la mitad de la energía generada en 2013:

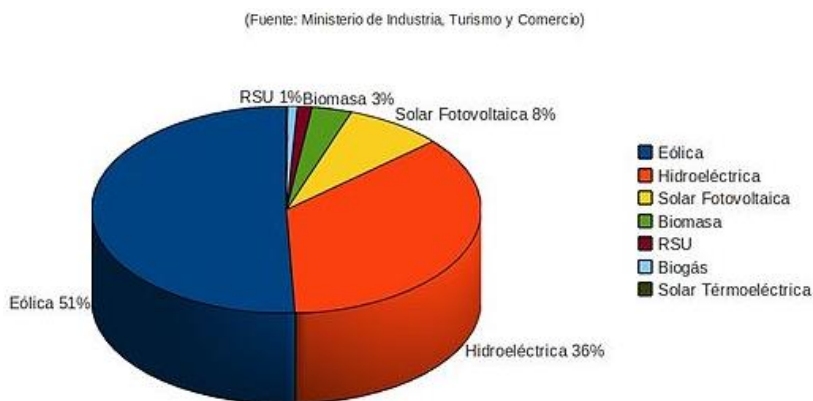


Ilustración 6. Porcentaje de generación de energía desde fuentes renovables en España. Año 2013. Fuente: MINETUR

La energía **Solar Fotovoltaica**, representa un 8% del total aportado por las fuentes de energía renovable.

La generación de electricidad es el principal uso de las tecnologías de aprovechamiento de fuentes renovables que están desarrolladas en España.

Por comunidades, podemos ver en la siguiente tabla, la generación de electricidad renovable en España (en GWh), para el año 2013, según el informe anual de Red Eléctrica de España (REE):



CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN A LA E. FOTOVOLTAICA

Tabla 1. Generación de electricidad (en GWh) a partir de fuentes renovables en España, según REE, para el año 2013

| Comunidad Autónoma | Hidráulica | Eólica | Solar Termoeléctrica | Solar Fotovoltaica | Total Generación Renovable | Total Demanda Eléctrica | % Renovables respecto a la demanda |
|--------------------|------------|--------|----------------------|--------------------|----------------------------|-------------------------|------------------------------------|
| Castilla y León | 7955 | 12681 | 0 | 848 | 22293 | 13586 | 164,09% |
| Extremadura | 2855 | 0 | 1649 | 1110 | 5802 | 4586 | 126,52% |
| Castilla La Mancha | 551 | 8657 | 678 | 1697 | 12312 | 11745 | 104,83% |
| Galicia | 8226 | 9496 | 0 | 20 | 20183 | 19538 | 103,30% |
| Aragón | 3594 | 4869 | 0 | 309 | 10013 | 10190 | 98,26% |
| Navarra | 146 | 2665 | 0 | 295 | 4037 | 4720 | 85,53% |
| La Rioja | 106 | 1078 | 0 | 130 | 1394 | 1655 | 84,23% |
| Asturias | 1911 | 1142 | 0 | 1 | 4051 | 1052 | 38,48% |
| Andalucía | 1303 | 6987 | 1988 | 1586 | 13959 | 37280 | 37,44% |
| Cantabria | 611 | 75 | 0 | 2 | 1049 | 4462 | 23,51% |
| Cataluña | 4607 | 3195 | 74 | 431 | 9665 | 47122 | 20,51% |
| R. Murcia | 76 | 544 | 43 | 802 | 1579 | 7801 | 20,24% |
| C. Valencia | 1584 | 2595 | 10 | 564 | 4831 | 25615 | 18,86% |
| Canarias | 0 | 364 | 0 | 287 | 662 | 8625 | 7,68% |
| País Vasco | 375 | 356 | 0 | 28 | 1114 | 17316 | 6,43% |
| Baleares | 0 | 6 | 0 | 122 | 129 | 5674 | 2,27% |
| C. Madrid | 69 | 0 | 0 | 92 | 547 | 30169 | 1,81% |
| Ceuta y Melilla | 0 | 0 | 0 | 0,1 | 0.1 | 412 | 0,02% |
| ESPAÑA | 33970 | 54708 | 4442 | 8324 | 113619 | 261023 | 43,53% |

Como muestra la tabla, se ha conseguido atender el 43% de la demanda eléctrica de España con energías renovables.

Incluso hay comunidades, como Castilla y León o Extremadura, con un saldo positivo en el balance eléctrico, superando con creces la demanda.

Por el contrario, zonas muy industrializadas como el País Vasco, o muy pobladas, como Cataluña y la Comunidad de Madrid, se quedan muy lejos de conseguir el pleno abastecimiento.

Las energías renovables sustituyeron 40.700 GWh de producción de electricidad a partir de combustibles fósiles. Ello supone el 13,4% de la electricidad total generada en España, así como evitar que se importaran más de 10 millones de toneladas equivalentes de petróleo.

Aportación económica

La aportación del sector renovable a la economía española ha sido estimada en torno al 0.67 % del PIB, para el año 2013. Se estima que emplea a entre unas 120 mil y 200 mil personas.

Las exportaciones asociadas a las energías renovables ascendieron en 2013, hasta los 3.863 millones de euros. Por ejemplo, en 2009, las empresas españolas encabezaron la instalación internacional de plantas eólicas, en 17 países.

El sector de las energías renovables es innovador: Sólo en 2008, el sector dedicó a esta actividad el 6,6% del PIB sectorial, cifra 5 veces superior a la media nacional (1,3%).

Además es muy intensivo en mano de obra, por lo que genera más empleo que la media del sector de la energía por unidad de PIB creada.

La media de empleos relacionados con el sector se puede consultar en el siguiente gráfico:

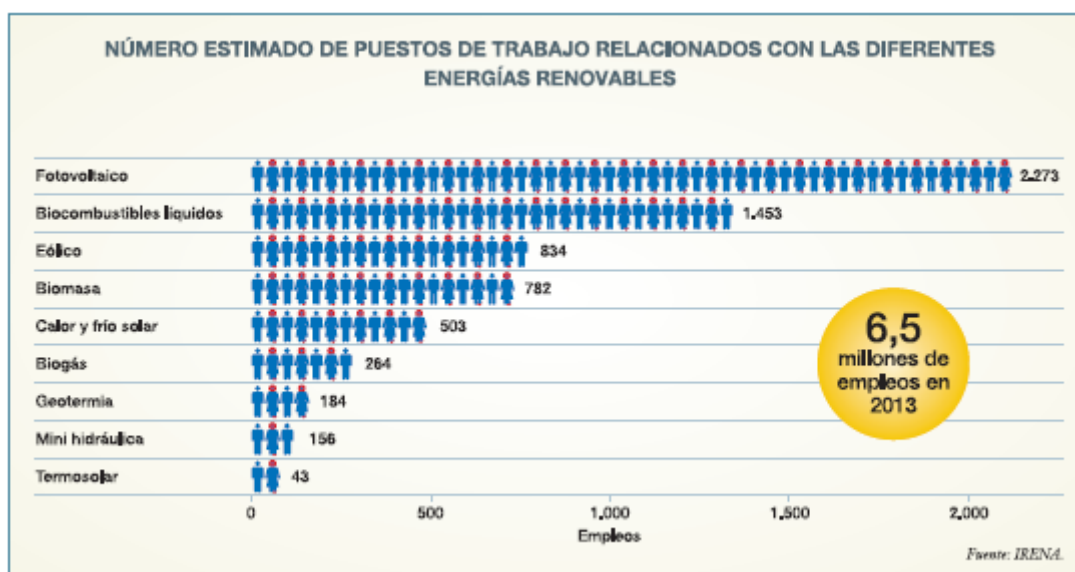


Ilustración 7. Estimación de puestos de trabajo en España, relacionados con energía renovable. Fuente:IRENA

Sin embargo, el sector ha estado bastante subvencionado, mediante primas, que compensan el coste de generación, superior al de otras fuentes más estándares.

Durante el año 2008 las primas a las renovables ascendieron a un total de 2.605 millones de euros, según la Asociación de Productores de Energías Renovables (APPA)

Gracias a la utilización de recursos autóctonos, este sector produce ahorros significativos al no importar combustibles fósiles o nucleares.

1.5 LA ENERGÍA FOTOVOLTAICA

La Energía Solar Fotovoltaica es una tecnología que genera corriente continua usando semiconductores, que son iluminados por un haz de fotones.

Cuando la luz incide en una célula solar (elemento fotovoltaico individual), se genera potencia eléctrica (en vatios o kilovatios hora).

Las ventajas e inconvenientes de este tipo de energía se recogen en esta tabla:

| Ventajas | Inconvenientes |
|---|--|
| Energía renovable, limpia e infinita. | Requiere una gran inversión inicial |
| Retribución económica para la venta a red de electricidad | Almacenamiento complejo |
| Se produce en el lugar que se consume. | Proceso de fabricación de módulos caro y complejo |
| La instalación es modular y ampliable | Producción variable, dependiente de climatología |
| En el pasado ha contado con ayudas de los Estados. Hoy en día es obligatorio en nuevos edificios para autoconsumo | Compite con otras fuentes de energía renovables. |
| Gran aceptación social. | La legislación actual no es favorable en algunos países, como Noruega y España |

La energía fotovoltaica proviene de tres tipos de instalaciones:

- Centrales o Plantas Fotovoltaicas

Las grandes plantas fotovoltaicas se componen de un conjunto de paneles, cuya superficie capta la luz del sol y la convierte en energía limpia.

Estas instalaciones solares de gran tamaño, también llamadas **“huertos solares”** ocupan una gran extensión de terreno y usan diferentes tecnologías dependiendo de las características físicas del terreno y la radiación solar existente en su ubicación.



Ilustración 8. Vista panorámica del huerto solar de una central fotovoltaica.

Así, podemos encontrar estructuras fijas (paneles inamovibles fijados en suelo) y estructuras móviles (seguidores solares a uno o dos ejes, que se mueven siguiendo la trayectoria y altura del sol durante el día).

Las instalaciones fotovoltaicas sobre terreno precisan de inversores que conviertan la corriente continua generada por los módulos en corriente alterna y transformadores para pasar la tensión de la corriente de alta a baja adaptándola de este modo para su consumo.

La energía generada por las plantas fotovoltaicas se inyecta en el punto de conexión a la red eléctrica.

- **Cubiertas de naves industriales o centros comerciales.**

Este tipo de instalaciones rentabilizan un espacio del que tradicionalmente no se saca ningún provecho para convertirlo en una fuente de producción energética y ahorro para sus dueños, quienes a través de **Acuerdos de Aprovisionamiento de Servicios de Energía (PPA)** generan un beneficio económico con la electricidad que se produce en sus cubiertas a la vez que contribuyen a la preservación del medioambiente.



Ilustración 9. Vista aérea de un centro comercial con instalación fotovoltaica

- **Instalaciones en edificios para autoconsumo.**

La instalación de sistemas fotovoltaicos en tejados de **viviendas y pequeños comercios** es una decisión cada vez más extendida a nivel global, ya que la sociedad está cada vez más concienciada de los beneficios que aporta la producción de energía limpia a través de fuentes renovables.

Cuando el propietario de una casa instala un sistema fotovoltaico e su tejado, aumenta el valor de su inmueble, se convierte en productor energético, con lo cual también ve reducida su factura por electricidad.



Ilustración 10. Instalación fotovoltaica en el tejado de un domicilio particular

En aquellos mercados donde se permite el “autoconsumo”, cuando la instalación está bien dimensionada, su propietario tiene la posibilidad o de dejar de comprar energía a la red eléctrica, o equiparar la energía que compra con la que consume.

Estos sistemas deben contar con inversores, adaptadores de voltaje y sistemas de almacenamiento para aprovechar realmente la energía producida por los paneles.

Generalmente los paneles son fijos, y precisan de un estudio de orientación, para su instalación, consiguiendo el mayor aprovechamiento de la luz solar, a lo largo de todo el año.

SITUACIÓN GLOBAL

La Generación de Energía Fotovoltaica, crece día a día, multiplicando la capacidad global.

Hemos pasado de 1.275 MW globales a principios del siglo XXI, a más de 135 mil MW en 2013:

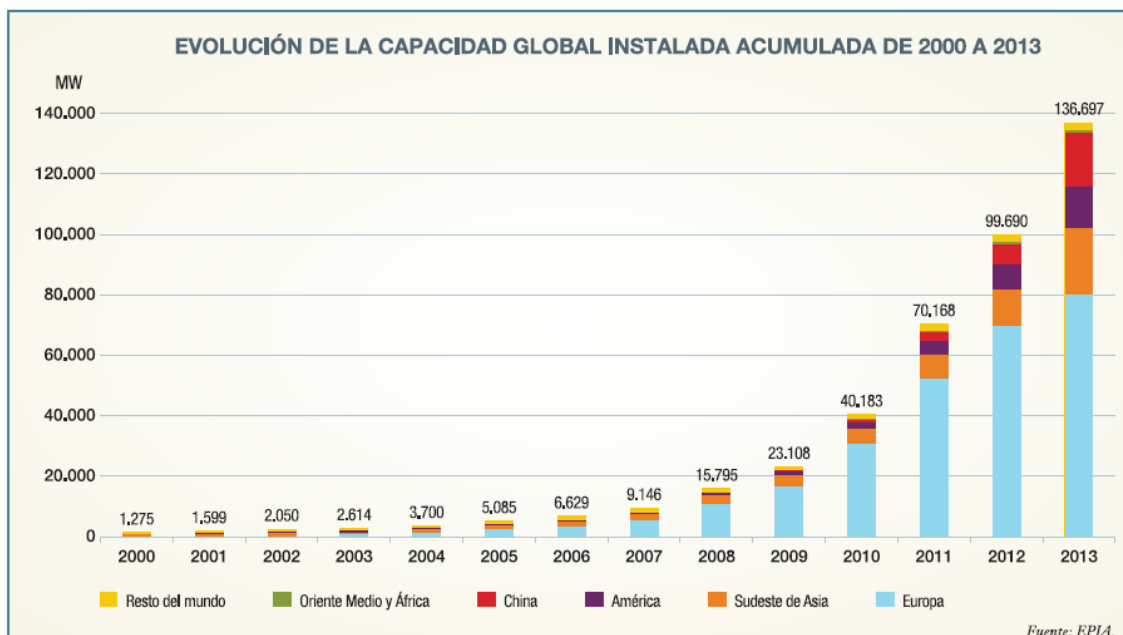


Ilustración 11. Evolución de la capacidad global de la energía fotovoltaica, instalada en 2013. Fuente: EPLA

En 2013 se batió un nuevo record mundial con un incremento de 37 GW, frente a los 29,9GW de 2012

Asia, tras 10 años de liderazgo europeo, se pone al frente, alcanzando el 57% de toda la nueva capacidad instalada: China lidera el mercado mundial con la generación de 11,3 GW. El segundo país asiático es Japón (6,9GW) al que se une países con crecimientos rápidos, como India (1,1 GW), Corea (442 MW) y Tailandia (317 MW).

Europa continúa en descenso del ritmo alcanzado a finales de la década pasada. Registró un descenso hasta los 10 GW nuevos, frente a los 22,4GW en 2011.

La Energía Fotovoltaica, ya cubre el 3% de la demanda eléctrica y 6% del pico de demanda total. La fotovoltaica es la segunda tecnología renovable en capacidad de generación en Europa, junto con la eólica.

Contrariamente, en América, despegó la generación fotovoltaica en Estados, que se sitúa como tercer país con más nueva capacidad, con 4,2GW.

En Canadá se observó un crecimiento hasta los 235MW. El resto de países del continente americano no muestran aumentos reseñables.

El siguiente gráfico nos sirve para comprar las evoluciones en los últimos años, por zonas mundiales:

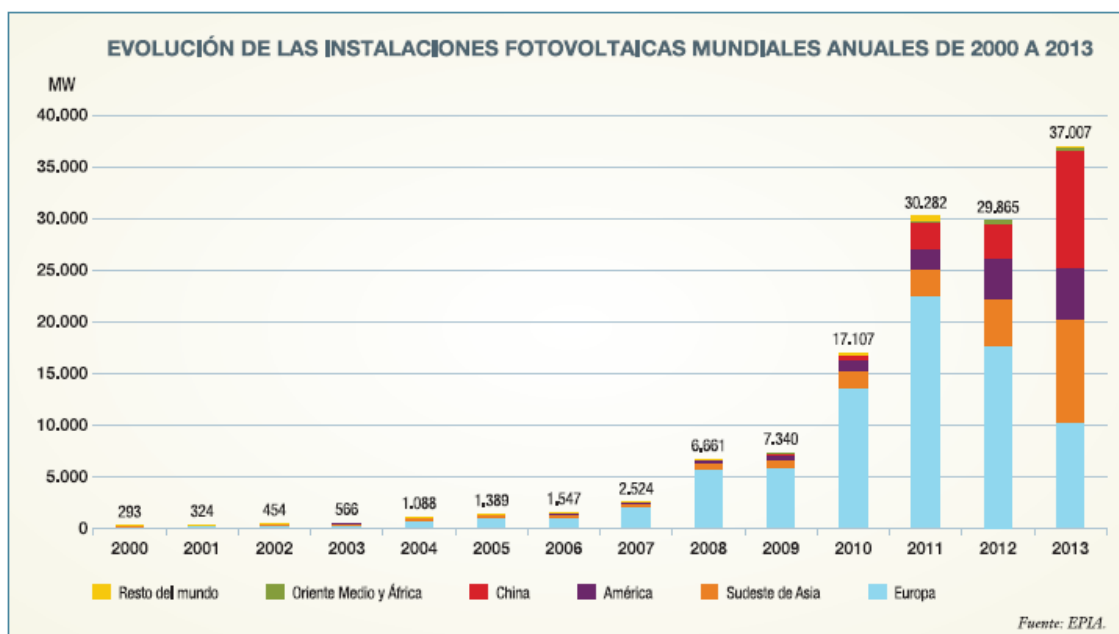


Ilustración 12. Evolución de la nueva generación de energía fotovoltaica, en el mundo. Fuente EPLA

La fotovoltaica sigue siendo la tercera energía renovable más importante del mundo: en términos de capacidad mundial instalada, sólo la preceden la energía hidráulica y la eólica.

Previsión de futuro

La tecnología fotovoltaica sigue en su camino hacia convertirse en la principal fuente de energía renovable, globalmente.

Se esperan crecimientos que alcancen los 160.000 GWh en 2015.

Los países asiáticos liderarán la generación de nueva energía fotovoltaica, con China a la cabeza.

Los planes de reducción de precios, la inversión en I+D, y el cambio de legislaciones en cada vez más países, a favor de la GFV, hacen prever un futuro de desarrollo intenso y rápido en todo el mundo.

1.6 LA ENERGIA FOTOVOLTAICA EN ESPAÑA

La situación del mercado energético en España es similar a la de otros países europeos, con un modelo energético que está en fase de transición.

Nuestro país tiene recursos energéticos renovables óptimos y un nivel tecnológico excelente en energías renovables y específicamente en energía solar fotovoltaica (ESF).



CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN A LA E. FOTOVOLTAICA

Como resultado de estos factores, España fue el país con mayor potencia fotovoltaica instalada en el mundo en 2008: 3270 MW. A día de hoy, es el sexto.

En España se han fomentado tanto la implementación de plantas fotovoltaicas, como la instalación de placas solares para el autoconsumo de edificios. Tanto es así, que:

- Aquí están dos de las diez principales plantas fotovoltaicas del planeta, en 2010:
 - Parque Fotovoltaico Olmedilla de Alarcón, en Cuenca, con 87,5 GWh.
 - Planta Solas Magascona y la Magasquilla, en Trujillo, Badajoz, con 57 GWh.

- Desde 2005, España se convirtió en el primer país del mundo en requerir por ley la instalación de placas solares en nuevos edificios.

El futuro parece bastante alentador: Según informes de Greenpeace, la energía solar podría abastecer **siete veces la demanda eléctrica que tendría la península en 2050**.

Desafortunadamente, diferentes factores, unidos a la crisis financiera, causaron una caída del sector fotovoltaico español, forzando a las empresas del mismo a centrar sus esfuerzos en el mercado internacional.

A pesar de esta situación transitoria, la energía solar fotovoltaica representa a medio y largo plazo una impresionante oportunidad de negocio en España, y una alternativa excelente al consumo de energías no renovables, de las cuales no somos productores.

Hemos experimentado que con los avances en la tecnología fotovoltaica, y la apuesta por esta energía, ha aumentado la potencia disponible hasta multiplicarla por 10 en 6 años:

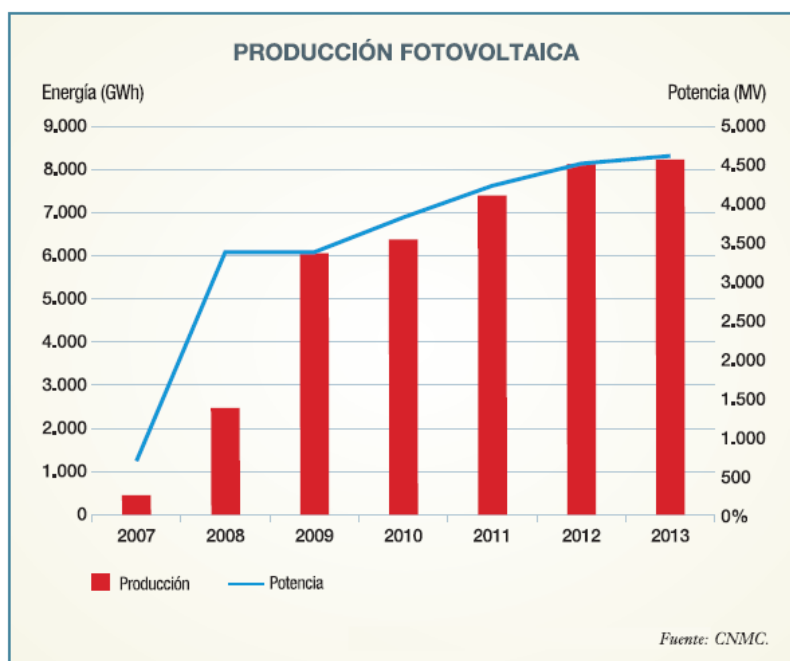


Ilustración 13. Potencia y Energía Fotovoltaica instalada en España, según CNMC

A pesar de que el mayor crecimiento se produjo en 2008, los últimos cuatro años representan un incremento pequeño pero constante. Los cambios en la legislación y la crisis financiera, han hecho que el aumento de plantas y potencia generada, estuviera por debajo del esperado.

La gráfica anterior muestra muy bien la dependencia del sector a la normativa y ayudas por parte del Estado. El pico de 2008 se debe a una normativa favorable, como veremos en el siguiente apartado. Y el estancamiento de años posteriores, y sobre todo a partir de 2012, coincide con los recortes y las normativas que restringen el sector.

La regulación, la crisis económica y la política de reducción del déficit son un reto para las energías renovables y especialmente para la fotovoltaica.

Por Comunidades Autónomas, destaca el crecimiento de **Andalucía, Castilla y León, Extremadura y Murcia**, como las que más potencias instalaron en los últimos años.

Durante 2013, el crecimiento es menor que el año anterior y mucho menor comparado con el año 2011. Las comunidades con mayor potencia instalada en 2013 fueron Andalucía, Castilla-La Mancha y Extremadura. En el otro extremo, Cantabria, Asturias, Ceuta y Melilla se sitúan a la cola del ranking

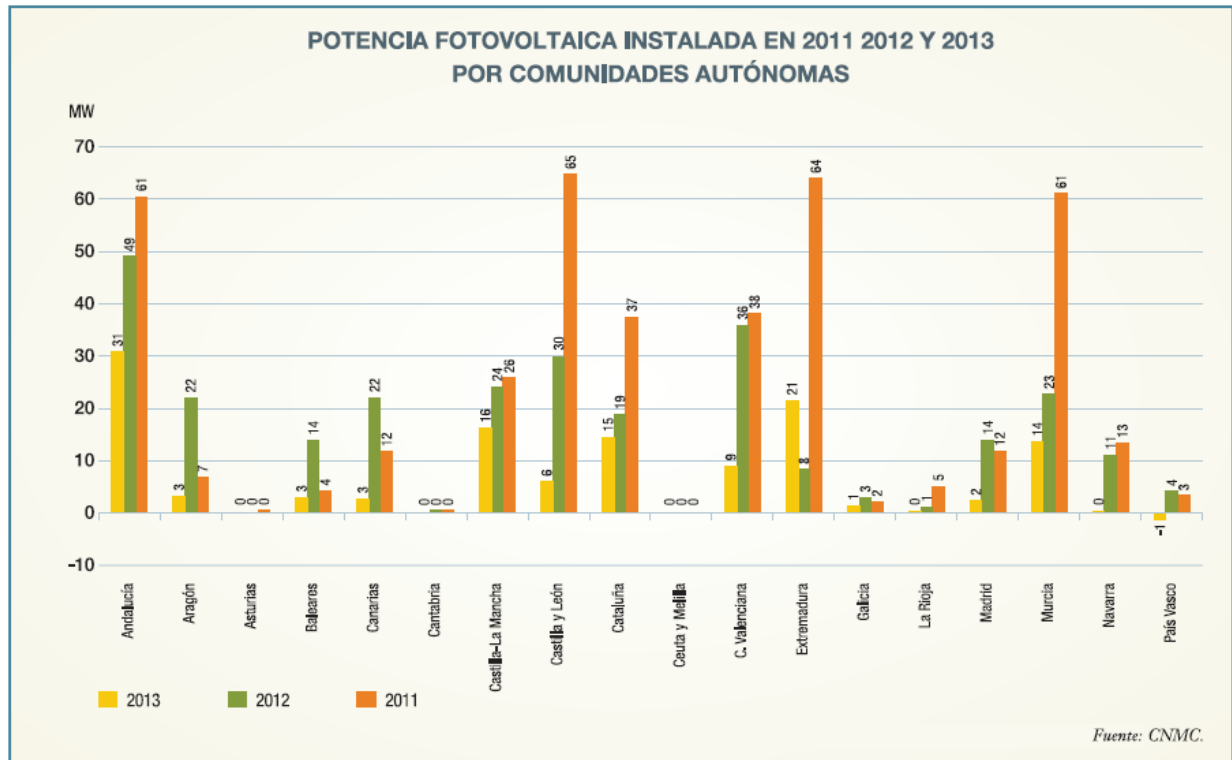


Ilustración 14. Evolución de la potencia fotovoltaica instalada, por CCAA. Fuente CNMC

Actualmente la capacidad del sistema fotovoltaico es de aproximadamente **4.651MW** (según CNMC, Abril 2014).

VISIÓN DE FUTURO

El futuro de la energía fotovoltaica en España, pasa por la creación de nuevas y mejores centrales que apuesten por la rentabilidad y el medio ambiente.

Es el sector público asociado con el privado, quien debe liderar esta senda, mediante el apoyo a la generación fotovoltaica.

Un ejemplo de ello es la próxima planta solar fotovoltaica **Lorca Solar**.

El grupo Gestamp Andaltia, apoyado por el Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, han dado luz verde a la creación de esta planta, que generará 333 MW anuales, y evitará la emisión de 475 mil toneladas de CO₂ (200 mil toneladas equivalentes de petróleo). Abastecerá 167 mil hogares y dará empleo a 700 personas.



CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN A LA E. FOTOVOLTAICA

Nuestro país recibe abundante radiación solar, y no es productor de otras fuentes no renovables, como el petróleo. Es por ello, que estamos ante una apuesta clara por el desarrollo económico y social de nuestro país, a la vez que protegemos el medio ambiente.

Sin embargo, el **autoconsumo fotovoltaico**, no vive la misma situación: A pesar de que los precios del equipamiento es cada vez más asequible, hay un gran escollo a su implantación: la legislación.

La normativa aprobada por el actual Gobierno, impone el pago de unos peajes excesivos.

Además de gravar la energía aportada por la red y del impuesto fijo por conexión a la red, impone un suplemento adicional, para mantener la red de transporte del sistema eléctrico. Dicho impuesto depende de la energía generada, y se ha dado a conocer como “impuesto al sol”. En la versión aprobada del decreto, sólo lo aplicará a las instalaciones que superen los 10kWh, lo cual perjudica, a todas las Pymes que quieran ser autoproducidas.

Establece varios registros obligatorios de instalaciones y de productores de energía. Así como multas de hasta varios millones de euros para aquellos que infrinjan la norma.

En definitiva, al contrario de lo que está sucediendo en la mayoría de países tanto en Europa como en el resto del mundo, en España va a aprobar una legislación que va, literalmente, a impedir el desarrollo de las instalaciones fotovoltaicas en Pymes y ámbitos domésticos.

El decreto de regulación del Autoconsumo Fotovoltaico, como puede verse en el capítulo 3, ha sido aprobado en medio de una fuerte oposición mediática y popular, en el final de la Legislatura (9 de octubre de 2015).

1.7 LA NORMATIVA SOBRE ENERGIA FOTOVOLTAICA EN ESPAÑA

Con el fin de entender el impacto de las leyes en el sector fotovoltaico, revisamos las medidas más importantes tomadas hasta ahora en nuestro país, y poder las medidas que sería oportuno tomar de cara al futuro.

Hay tres niveles de legislación que se deben cumplir en el sector:

- europea (por medio de las Directivas Comunitarias),
- nacional (a través de las Leyes, Reales Decretos, Resoluciones, etc)
- autonómicas y municipales.

Cuando no exista disposición normativa de obligado cumplimiento aplicable se tendrán en cuenta los siguientes elementos:



CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN A LA E. FOTOVOLTAICA

- recomendaciones de la Comisión Europea
- los códigos de buenas prácticas
- Es estado de la técnica y el conocimiento actual

MARCO LEGISLATIVO EN LA UNIÓN EUROPEA

Se basa en Directivas, que establecen los requisitos esenciales de una técnica o producto, fijando niveles de protección y seguridad.

Las Normas Armonizadas contienen las especificaciones técnicas que permiten desarrollar las Directivas. Son especificaciones técnicas de carácter no obligatorio, elaboradas y editadas por los organismos y comités normalizadores europeos: CEN (Comité Europeo de Normalisation), CENELEC (Comité Europeo de Normalisation Electrotechnique) y ETSI (European Telecommunications Standards Institute).

Su elaboración comprende un proceso transparente y abierto para lograr un consenso entre todas las partes interesadas.

Se publican en el D.O.U.E. (Diario Oficial de la Unión Europea).

Dos son las directivas relacionadas con los componentes (módulos fotovoltaicos e inversores) de las instalaciones fotovoltaicas de conexión a red: la que hace referencia al “Material eléctrico de baja tensión” y la que hace referencia a la “Compatibilidad electromagnética de los aparatos eléctricos y electrónicos”:

La Directiva de Baja Tensión 2006/95/CE está vigente desde el 17 de enero de 2007.

Esta Directiva tiene como objetivo garantizar que el material eléctrico únicamente pueda comercializarse si, en caso de instalación y mantenimiento, no pone en peligro la seguridad de las personas, los animales domésticos y los bienes.

Las disposiciones de la Directiva tienen como fin armonizar las legislaciones de los Estados miembros en materia de concepción y fabricación de cualquier material eléctrico destinado a utilizarse:

- con una tensión nominal comprendida entre 50 y 1000 V en corriente alterna
- con una tensión nominal comprendida entre 75 y 1500 V en corriente continua

Su transposición y desarrollo a la legislación española se hace por medio del Real Decreto 1580/2006, de 22 de diciembre, por el que se regula la compatibilidad electromagnética de los equipos eléctricos y electrónicos (B.O.E. Nº 15 publicado el 17/1/2007)

Directiva 2004/108/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 15 de diciembre de 2004, relativa a la aproximación de las legislaciones de los Estados miembros en materia de compatibilidad electromagnética.

Armoniza las disposiciones de Derecho nacional que garantizan la protección contra las perturbaciones electromagnéticas de los equipos.

De conformidad con la norma, el diseño y la fabricación de equipos están sujetos a requisitos esenciales relacionados con la compatibilidad electromagnética. La nueva Directiva 2004/108/CE sobre Compatibilidad Electromagnética entró en vigor el 20 de julio de 2007.



CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN A LA E. FOTOVOLTAICA

Su transposición y desarrollo a la legislación española se hace por medio del Real Decreto 1580/2006, de 22 de diciembre, por el que se regula la compatibilidad electromagnética de los equipos eléctricos y electrónicos B.O.E. Nº 15 publicado el 17/1/2007.

MARCO LEGISLATIVO NACIONAL

A partir de la creación del Régimen Especial, que nace de la **Ley 54/97** del sector eléctrico, y con el apoyo del **RD 2818/1998** que establece el régimen de primas, comienza a crecer la capacidad del sector fotovoltaico.

Con el **RD 1663/2000**, cuando se establece la simplificación de los procedimientos de conexión de instalaciones y con las medidas estratégicas como el Plan de Fomento de las Energías Renovables cuando se incrementa la velocidad de crecimiento del sector.

Sin embargo, el empuje más fuerte se produce con la promulgación del **RD 436/2004**, donde se establecen las primeras tarifas y el **Plan de Energías Renovables 2005-2010** y el **RD 661/2007** que establece nuevas condiciones de inversión muy atractivas.

Según la CNMC, sólo en 2008, se llegaron a instalar 2.707 MW, siendo un 82% en rangos de 5 a 100 kW, ya que la prima era la más atractiva para este rango de tamaños (45 c€/kWh).

Esta normativa dio lugar a la construcción de parques fotovoltaicos de gran potencia divididos en propiedades de 100 kW. Aunque esta configuración no es la solución óptima en la gestión eficiente de la energía, sí lo fue económicamente.

La puesta en vigor del **RD 1578/2008** cambió además la clasificación de las instalaciones. Dejó de realizarse por potencia, a clasificar por el lugar de instalación (tejado pequeño, tejado grande o suelo).

A partir de ahí, el sector sufre una evolución irregular, siendo bastante escasa en algunos años.

En el siguiente gráfico podemos ver, que la mayoría de las instalaciones siguen adheridas al RD 661/2007, a pesar de su limitación en 2008. Ello indica que el parque de GFV quedó en gran medida estancado en 2008.

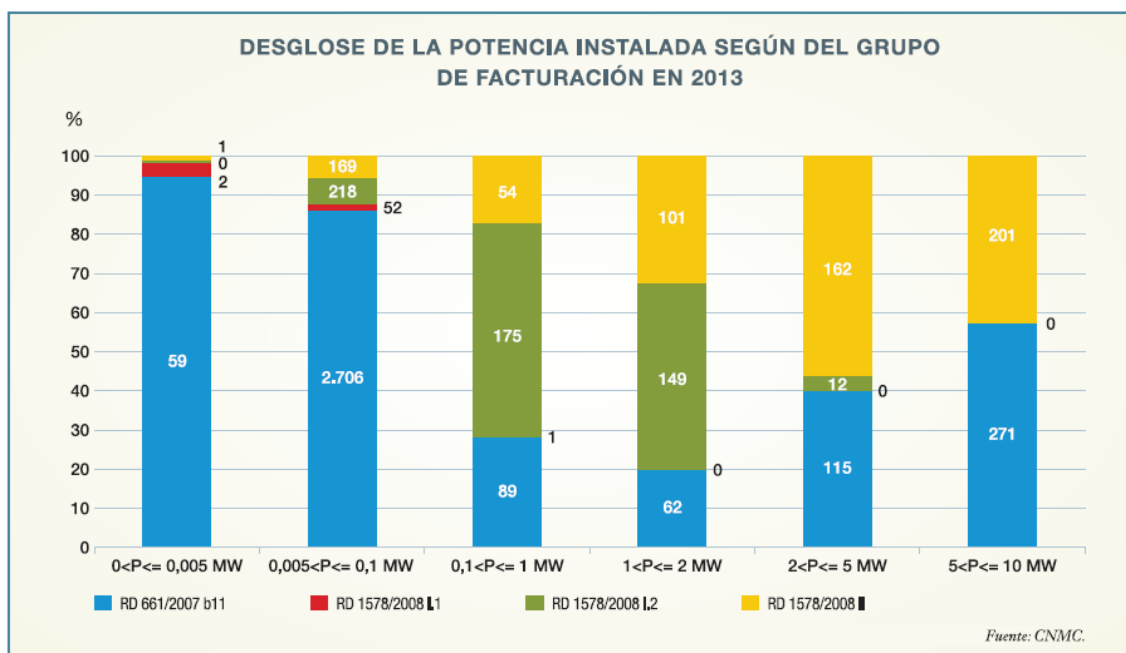


Ilustración 15. Desglose de las instalaciones GFV en España, por facturación y su adhesión a las normas. Fuente CNMC

El 72% de la potencia se encuentra acogida a este régimen económico mientras que el 28% restante se acoge al del RD 1578/2008. De éstos, más de la mitad de la potencia pertenece al grupo de suelo tipo II, la cubierta grande tipo I.II se lleva el 42% y el resto corresponde a cubierta pequeña o tipo I.I (4%).

El penúltimo ejemplo de la normativa que afecta negativamente al sector, es el **RD 1/2012** que cierra el procedimiento de pre-asignación de retribución y suprime los incentivos económicos de nuevas instalaciones de generación de energía renovable.

En España hay, según datos de CNMC de diciembre de 2013, 60.698 instalaciones fotovoltaicas.

La mayoría de las instalaciones tienen un tamaño entre 5 y 100 kW (46.539) de las que el 80% pertenece al **RD 661/2007**.

Le siguen las instalaciones de tamaño menor de 5 kW (13.165) con un 95%, que están acogidas también al **RD 661/2007**.

Las de tamaño menor del MW y mayor que 100 kW, son 655. Para este rango de potencias, el **RD 1578/2008** es más relevante.

El total lo completan: las instalaciones con valores entre 1 y 2 MW (194), entre 2 y 5 MW (77) y entre 5 y 10 MW (59).

CAPÍTULO 2. SISTEMA FOTOVOLTAICOS: ELEMENTOS Y TIPOS.

En este segundo capítulo, el objetivo es explicar los diferentes sistemas fotovoltaicos disponibles hoy en día.

Un **sistema fotovoltaico** es un conjunto de dispositivos que aprovechan la energía producida por el sol y la convierten en energía eléctrica.

La generación de energía eléctrica dependerá de las horas que el sol brille sobre el panel solar y del tipo y cantidad de módulos instalados, orientación, inclinación, radiación solar que les llegue, calidad de la instalación y la potencia nominal.

2.1 ELEMENTOS DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO

En general, un sistema fotovoltaico está compuesto por:

- **Un generador fotovoltaico (GFV)**
- **Un regulador de carga**
- **Un inversor**
- **Una batería de acumulación**
- **Elementos de consumo**

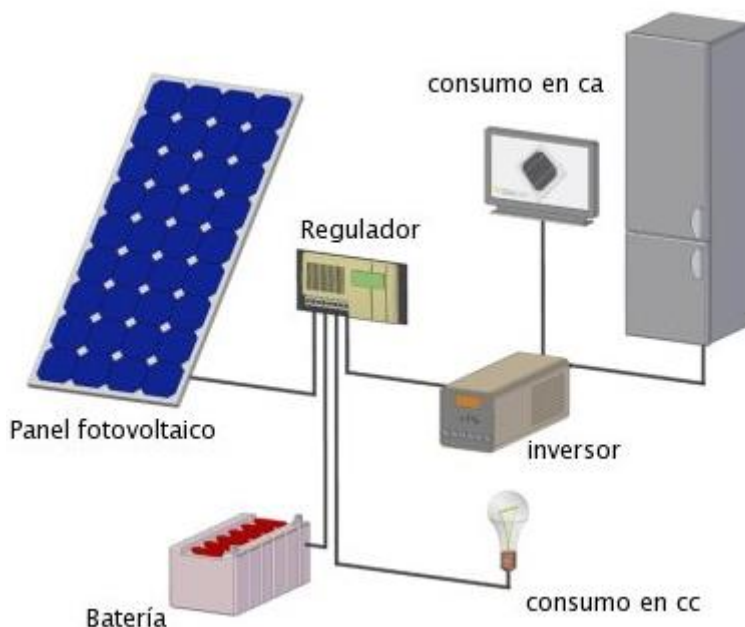


Ilustración 16. Esquema de un sistema fotovoltaico simple. Fuente: SAEC

La energía generada por el GFV, se puede utilizar directamente, o acumular en un **sistema de baterías**, para que pueda utilizarse en momentos que no se genere la suficiente energía, como por ejemplo de noche, o en días con poca radiación solar.

Las baterías que se utilizan con esta finalidad son acumuladores de tipo estacionario y sólo en casos muy especiales es posible utilizar baterías tipo automoción.

Además, las baterías para uso fotovoltaico tienen que cumplir los siguientes requisitos: bajo valor de auto-descarga, larga vida útil, elevado números de ciclos de carga y descarga y mantenimiento casi nulo.

Para controlar los procesos de carga y descarga de la batería, se utiliza el **regulador de carga**. Protege a las baterías de sobrecargas o sobredescargas excesivas, que acortan su vida útil.

Su función es sencilla: si el regulador detecta sobrecarga, desconecta el GFV y cuando la descarga es excesiva, desconecta los elementos de consumo.

Los módulos FV producen corriente continua (DC), que se almacena directamente en las baterías. Si queremos dar energía a elemento con corriente alterna (AC), es necesario disponer de un **inversor**, el cual convierte la corriente continua en alterna, con el máximo rendimiento posible.

2.2.1 GENERADOR FOTOVOLTAICO

El generador fotovoltaico (GFV) es el que se encarga de generar la energía eléctrica a partir de la energía luminosa del Sol.

Está formado por un conjunto de módulos o paneles fotovoltaicos, conectados en serie y paralelo. A su vez dichos módulos están formados por células fotovoltaicas.

LA CÉLULA FOTOVOLTAICA

Es el elemento principal de una instalación de energía sola. Dicha célula se caracteriza por el **efecto fotovoltaico**, que es la propiedad de determinados materiales semiconductores que producen una corriente eléctrica continua, cuando incide sobre ellos una radiación lumínica.

Una célula solar se comporta como un diodo: la parte expuesta a la radiación solar es la parte N, y la situada en la parte oscura, la P. Los terminales de conexión de la célula se hallan sobre cada una de estas partes. La cara de la zona P está metalizada por completo, mientras que la zona N tiene un metalizado en forma de peine, para permitir que la radiación llegue al semiconductor.

La luz solar incidente sobre la célula fotovoltaica es absorbida parcialmente, y esa misma energía (transportada por los fotones que conforman la luz) son los que generan electricidad.

Los fotones son absorbidos por el material semiconductor, liberando un electrón. Ello produce que, una vez libre el electrón, quede detrás una carga positiva, llamada hueco.

Los electrones (carga negativa) tienden a la unión semiconductora N y los huecos a la unión semiconductora P, generando así una corriente continua.

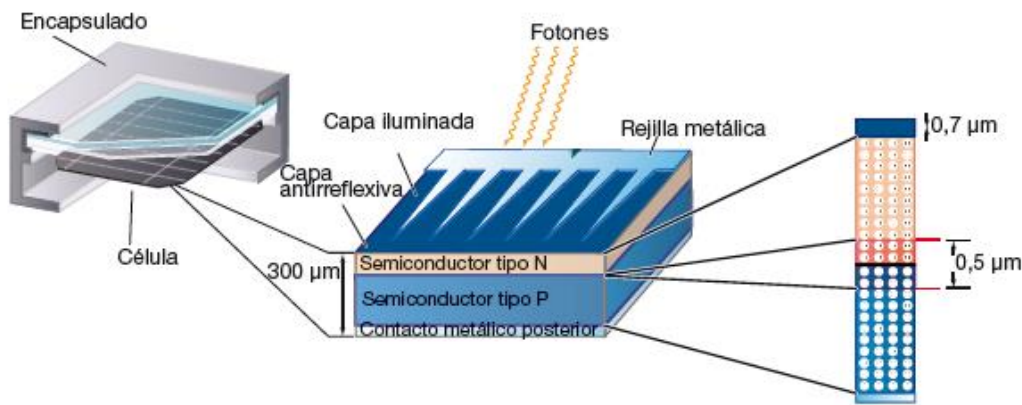


Ilustración 17. Esquema de una célula fotovoltaica. Fuente:MHEDUCATION

A través de los contactos metalizados, podemos obtener una tensión y una intensidad eléctrica, que será el origen de la energía eléctrica que genera el sistema.

Los **parámetros fundamentales** de la célula solar son:

- **Corriente de Iluminación** (I_L), generada cuando incide la radiación solar sobre la célula
- **Corriente de oscuridad**, debida a la recombinación de los pares electrón-hueco, producida también en el interior del semiconductor
- **Tensión de circuito abierto** (V_{OC}), es la máxima tensión entre los extremos de la célula, cuando no está conectado a ninguna carga. Es típica del material con el que está construida la célula.
- **Corriente de cortocircuito** (I_{SC}) es el máximo valor de corriente que circula por la célula, cuando sus terminales están cortocircuitados.

Cuando la célula solar se conecta a una carga, los valores de tensión e intensidad varían. Existirá una pareja de valores, para los cuales la potencia entregada es máxima, y definen la potencia máxima de la célula:

$$P_m = V_m I_m$$

Ecuación 1. Potencia máxima de la célula fotovoltaica

Estos valores siempre serán menores que V_{OC} e I_{SC} , lo que nos permite definir un parámetro fundamental de la célula, el **factor de forma** (FF):

$$FF = \frac{V_m I_m}{V_{OC} I_{SC}}$$

Ecuación 2. Factor de Forma de la célula fotovoltaica

El factor de forma es el cociente entre la máxima potencia que puede entregar la célula a la carga, y la potencia máxima sin carga.

Los valores más habituales de FF están entre el 0,7 y el 0,8.

El comportamiento eléctrico de los módulos está dado por las curvas de corriente contra voltaje (**curva IV**) o la curva potencia contra voltaje (**curva PV**) que los caracteriza.

La curva de potencia se genera multiplicando la corriente y el voltaje en cada punto de la curva IV.

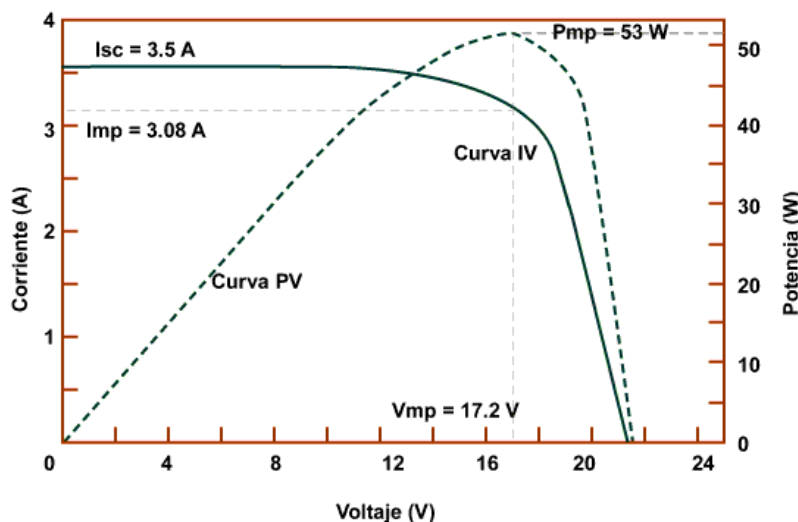


Ilustración 18. Curva PV y curva IV de una célula fotovoltaica. Fuente: NMSU

Bajo condiciones estándares de prueba (irradiancia de 1 kW/m^2 y temperatura de celda de 25°C), cada modelo de módulo tiene una curva IV (o PV) característica.

Cuando el módulo opera lejos del punto de máxima potencia, la potencia entregada se reduce significativamente

Estas curvas dependen de la temperatura y de la irradiación, como muestran las siguientes gráficas:

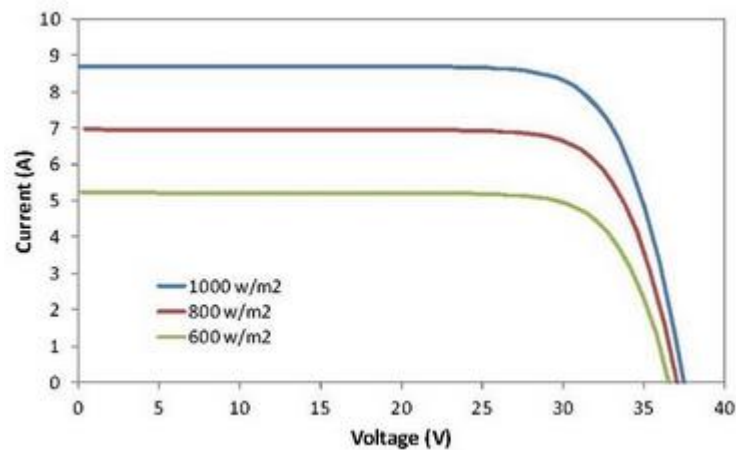


Ilustración 19. Curvas I-V para distintos valores de irradiancia, a temperatura constante de 25°C. Fuente: INGEMECHANICA

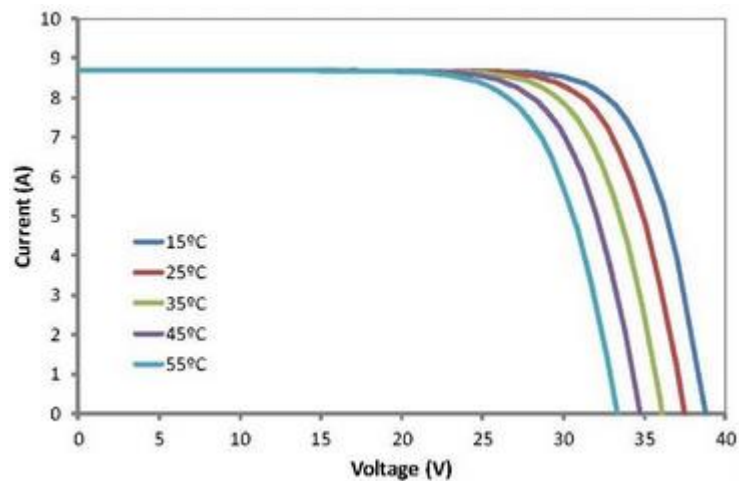


Ilustración 20. Curvas I-V para distintas temperatura con un valor fijo de irradiancia solar (1000 W/m²). Fuente: INGEMECHANICA

A mayor temperatura, y mayor irradiancia, mejores valores de voltaje, corriente y por tanto, potencia.

TIPOS DE CÉLULAS FOTOVOLTAICAS

Podemos distinguir tres grandes grupos:

- **Convencionales:** tipo monocristalino, tipo policristalino, y tipo silicio amorfo.
- **No convencionales:** silicio amorfo triple, silicio amorfo tándem, CdTe, EFG, String Ribbon, CIS, Apex, HIT, etc.
- **De concentración.**

Silicio Monocristalino

Es el material más utilizado actualmente para la fabricación de células solares.

Aun así, su fabricación es compleja, y cara.



Ilustración 21. Célula solar de silicio monocristalino

El proceso de fabricación es el siguiente:

- primero el silicio se purifica, se funde y se cristaliza.
- se corta en finas obleas para conseguir células individuales con los extremos redondeados para aprovechar la superficie.

La técnica más extendida de fabricación de silicio monocristalino es el método **Czochralski**.

Las células tienen un color uniforme, generalmente azul o negro y se consigue un rendimiento del 24% en laboratorio y entre un 15 % y un 18% en producción.

Silicio Policristalino

Las células **policristalinas** están fabricadas con silicio de menor pureza y por tanto de un costo más bajo que las células monocristalinas.

Ello da lugar generalmente a un rendimiento más bajo, pero las ventajas del coste compensan las pérdidas de la eficacia.

Presenta un color no uniforme, a diferencia de las monocristalinas.

Las células policristalinas consiguen un rendimiento del 18% en laboratorio y entre un 12 y un 14% en producción.

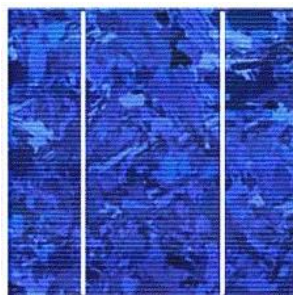


Ilustración 22. Célula de silicio policristalino

Silicio Amorfo

No tiene ninguna estructura cristalina a diferencia de los anteriores. El silicio amorfo está formado por capas depositadas al vacío sobre un cristal, plástico o metal.


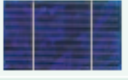

Hasta el momento actual el principal problema del silicio amorfo es su disminución de eficiencia tras una prolongada exposición a los rayos solares, a pesar de que el material es muy resistente frente a agentes externos como humedad, temperatura y corrosión.

En las 100 primeras horas de funcionamiento se produce una degradación hasta que se estabiliza y a partir de ahí, la producción de corriente es prácticamente estable.

Consiguen un rendimiento del 16 % en laboratorio y menor del 10% en producción.

La siguiente tabla recoge las diferencias entre los tres principales modelos de células fotovoltaicas:

Tabla 2. Tipos convencionales de células fotovoltaicas. Fuente:MHEDUCATION

| Células | Silicio | Rendimiento laboratorio | Rendimiento directo | Características | Fabricación |
|---|----------------|-------------------------|---------------------|---|--|
|  | Monocrystalino | 24 % | 15 - 18 % | Son típicos los azules homogéneos y la conexión de las células individuales entre sí (Czochralski). | Se obtiene de silicio puro fundido y dopado con boro. |
|  | Policristalino | 19 - 20 % | 12 - 14 % | La superficie está estructurada en cristales y contiene distintos tonos azules. | Igual que el del monocrystalino, pero se disminuye el número de fases de cristalización. |
|  | Amorfo | 16 % | < 10 % | Tiene un color homogéneo (marrón), pero no existe conexión visible entre las células. | Tiene la ventaja de depositarse en forma de lámina delgada y sobre un sustrato como vidrio o plástico. |

Células String Ribbon

Con la técnica de String-Ribbon, dos cadenas de alta temperatura se extraen verticalmente a través de un somero silicio, se derriten, y el silicio fundido se extiende entre las dos cuerdas a través de la tensión superficial y se congela entre ellas.

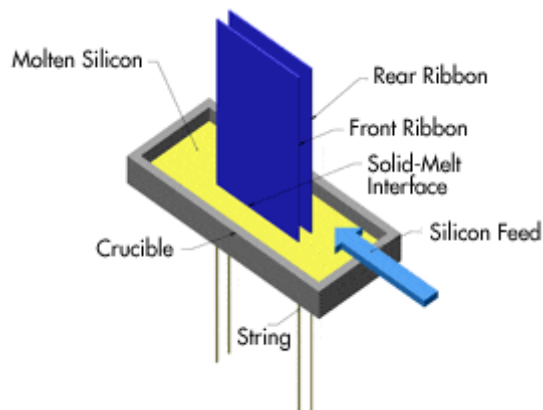


Ilustración 23. Estructura de una célula String Ribbon

La principal ventaja es que la eficiencia es alta, con un uso menor de silicio (35% menos que las células de silicio policristalino)

Pero la producción es manual, con obleas no tan planas, y ello penaliza la eficacia.

En laboratorio alcanza el rendimiento del 15%.

Células de concentración

La concentración fotovoltaica es la más reciente, y empezó a comercializarse en 2006.

Su principal característica es que intentan concentrar la radiación por unidad de superficie, de modo, que la cantidad de silicio necesaria para generar una cantidad de energía sea mucho menor.

Requiere de materiales reflectantes (espejos, metales, etc), que mediante una geometría paraboloide, redirige la radiación a superficies menores, concentrando así los rayos. Utiliza sólo energía directa, por lo que debe contar con un sistema de seguimiento solar.



Ilustración 24. Células fotovoltaicas de concentración

EL MÓDULO FOTOVOLTAICO

Las celdas se agrupan en lo que se denomina el módulo solar o fotovoltaico. Este conjunto de celdas deben estar convenientemente conectadas, para alcanzar las condiciones óptimas para su integración en sistemas de generación de energía.

Proporciona en su salida de conexión una tensión continua, de un valor prefijado (6V, 12V, 24V, etc.)

Las celdas solares se conectan en serie o en paralelo.

- **Conexión en serie:** se conectan diferentes placas uniando el polo positivo de la primera con el negativo de la segunda. La tensión total del sistema es la tensión del sistema multiplicada por el número de placas colocadas en serie. La intensidad total por el contrario es la intensidad de una única placa.
- **Conexión en paralelo:** se conectan diferentes placas uniando todos los polos positivos por un lado y los negativos por el otro. La tensión total del sistema es la tensión de una sola placa. La intensidad total es la intensidad de una multiplicada por el número de placas solares en paralelo.

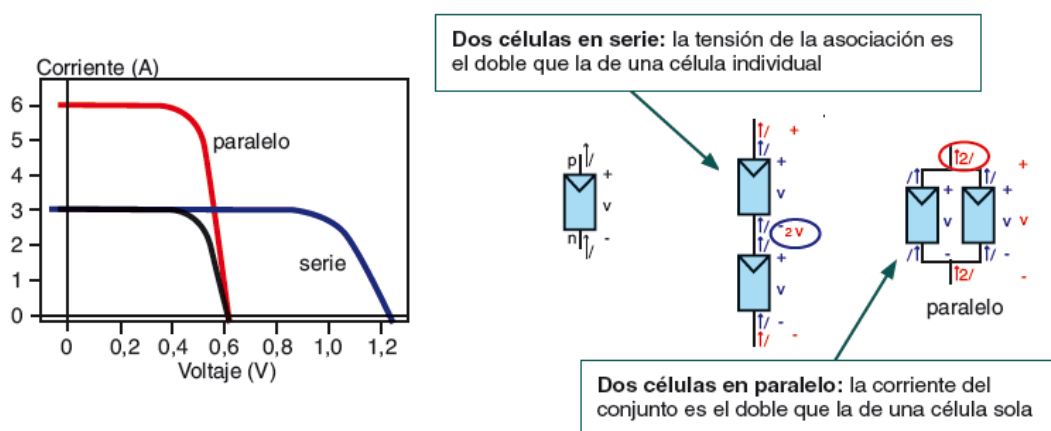


Ilustración 25. Asociación de células solares. Fuente: MHEDUCATION

Por tanto, si necesitamos aumentar la tensión total del panel, uniremos las células en serie, y si lo que queremos aumentar es la corriente, lo haremos en paralelo.

Inclinación del módulo fotovoltaico

La máxima energía se obtiene cuando los rayos solares llegan perpendiculares a la superficie del panel.

Existen estructuras de soporte (conocidas como **seguidores azimutales**) que ajustan automáticamente el **azimut y/o la elevación del panel**, para seguir el movimiento del Sol, y garantizar una irradiancia máxima. Pero lo más usual es que el ángulo de elevación sea fijo.

Dependiendo de la latitud del lugar, los seguidores azimutales pueden incrementar la insolación promedio anual en un 15-25%.

Debido a que el ángulo de elevación del Sol cambia durante el año, se debe tener un criterio de selección del ángulo óptimo que garantice la máxima producción de energía eléctrica.

En el hemisferio Norte el Sol se declina hacia el Sur, por lo cual se requiere que los paneles estén orientados (respecto de la horizontal) hacia el Sur.

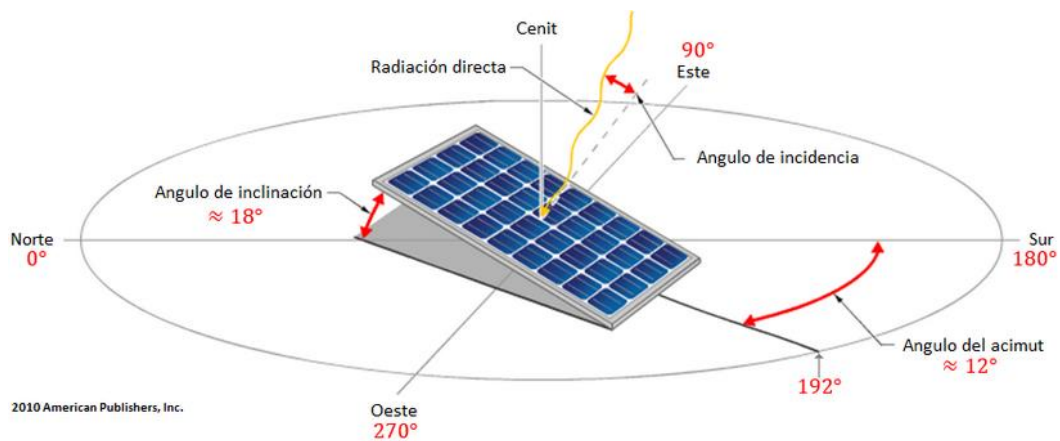


Ilustración 26. Ángulos de orientación de un panel fotovoltaico. Fuente: American Publishers

2.2.2 REGULADOR

Es un sistema de regulación de carga entre los paneles solares y las baterías. Su principal misión es cargar y descargar las baterías, de modo tal que alarguen su vida útil.

El regulador por tanto, trabaja en dos zonas:

- La **carga**, garantizando una corriente suficiente que genere una carga correcta de las baterías.
- La **descarga**, que asegura el suministro eléctrico suficiente y evita la descarga excesiva de la batería.

Es importante revisar varios parámetros de un modelo de regulador:

- **Tensión nominal:** es la tensión de trabajo de la instalación, y coincide con la tensión nominal de las baterías.
- **Intensidad máxima en generación:** es la corriente máxima que soporta, recibida desde los módulos solares

- **Intensidad máxima de consumo:** es la corriente que aporta al sistema para el consumo de los usuarios
- **Pérdida máxima de generación/consumo:** es el valor máximo que soporta para pérdidas de potencia internas
- **Sobrecarga:** es el porcentaje de potencia que soporta el regulador, sin llegar a romperse.
- **Autoconsumo:** la cantidad de energía que consume para su propio funcionamiento. Se debe tener en cuenta en el dimensionamiento de un sistema fotovoltaico.

2.2.3 INVERSOR

Se encarga de convertir la corriente continua que genera el panel fotovoltaico, en corriente alterna, para el consumo de los equipos electrónicos (220V de valor eficaz y con frecuencia de 50 Hz).

Es imprescindible en los sistemas conectados a red, y en las instalaciones aisladas, destinadas a proporcionar energía eléctrica a una vivienda.

En los sistemas conectados a red, es necesario también un contador de electricidad alterna que se inyecta a la red, y otro de la que se consume desde la red, cuando el equipo no sea capaz de suplir las necesidades de consumo.

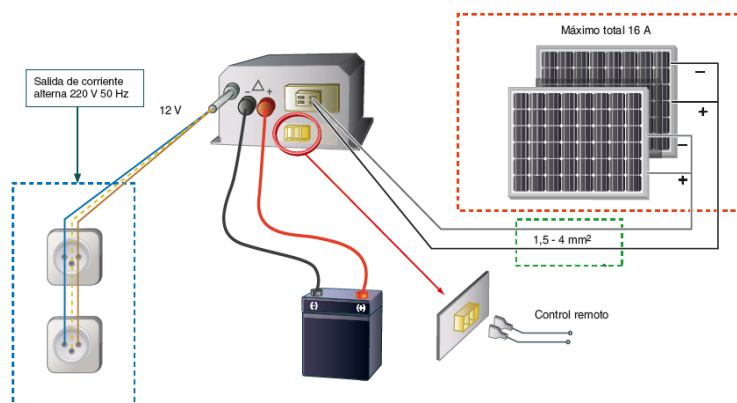


Ilustración 27. Inversor en un esquema de sistema fotovoltaico. Fuente: MHEDUCATION

Las características deseables de un conversor son:

- **Alta eficiencia:** debe soportar un amplio rango de potencias.
- **Bajo consumo en vacío:** cuando no hay consumo eléctrico por parte del usuario.
- **Alta fiabilidad:** resistencia a los picos en el arranque
- **Protección frente a cortocircuitos, y frente a contactos directos.**

- **Debe poseer un interruptor automático**, sobre el que actuarán los relés de máxima y mínima tensión
- **Limitador de frecuencia** máxima y mínima.
- Los inversores de menos de 5kW suelen ser **monofásicos**. Si son mayores a 15Kw, deben ser **trifásicos**.
- **Buena regulación de la tensión y frecuencia de salida.**

2.2.4 BATERÍA

La variación de la producción de energía a lo largo del día, y en distintas estaciones, hace necesaria la implementación de un sistema de baterías, que almacenen la energía para su posterior consumo.

Las baterías son dispositivos capaces de transformar la energía química en eléctrica y viceversa.

Las baterías son cargadas por la energía eléctrica generada por los paneles solares, a través del regulador de carga. También serán descargadas conforme se haga uso del sistema, de un modo regulado.

Las principales misiones de las baterías en un sistema fotovoltaico son:

- Almacenar energía durante un número de días.
- Proporcionar una potencia instantánea elevada.
- Fijar la tensión de trabajo de la instalación.

Los parámetros que hay que tener en cuenta para elegir un sistema de baterías son:

- **Tensión de trabajo**, es la tensión que proporcionan a la instalación eléctrica. Difiere de la tensión nominal,
- **Capacidad**. Es la cantidad de electricidad que puede lograrse en una descarga completa del acumulador, desde la carga total. Se mide en Amperios-hora (Ah) y se calcula como el producto de la intensidad de descarga por el tiempo de actuación de la misma.
- **Eficiencia de carga**: relación entre la energía empleada para recargar la batería y la energía realmente almacenada. Debe ser lo más próximo posible al 100%.
- **Autodescarga**: es la tendencia de un acumulador sin consumo, a perder carga de modo continuo.
- **Profundidad de descarga**: es la cantidad de energía porcentualmente que se obtiene de una batería durante una descarga, partiendo del acumulador totalmente cargado. Está relacionado con la vida útil de la batería.
- **Mantenimiento**. Las baterías como los acumuladores estacionarios (OPzS, EPzS, TOPzS) necesitan ser rellenadas con agua destilada. Mientras las baterías de gel, no requieren de mantenimiento.

Self-discharge characteristic

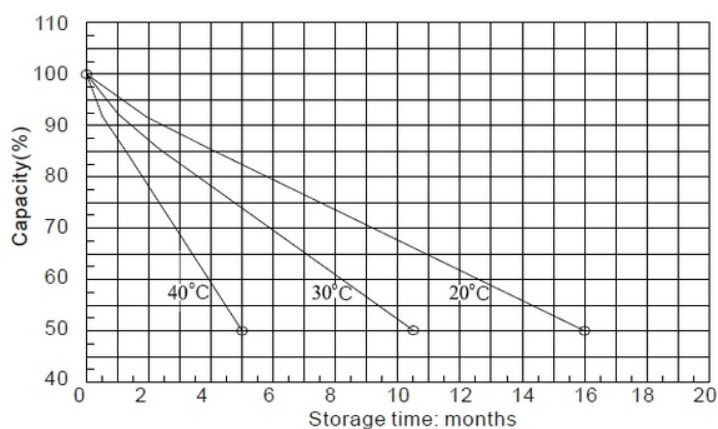


Ilustración 28. Gráficas de autodescarga de la batería, dependiendo de la temperatura

Existen distintos tipos de baterías, que se diferencian por las características que hemos comentado.

La siguiente tabla muestra una comparativa de ellas:





Tabla 3. Comparativa de los principales tipos de baterías. Fuente: MHEDUCATION

| Tipo de batería | Tensión por vaso (V) | Tiempo de recarga | Autodescarga por mes | N.º de ciclos | Capacidad (por tamaño) | Precio |
|---------------------------------|----------------------|-------------------|----------------------|---------------|------------------------|--------|
| Plomo-ácido | 2 | 8-16 horas | < 5 % | Medio | 30-50 Wh/kg | Bajo |
| Ni-Cd (níquel-cadmio) | 1,2 | 1 hora | 20 % | Elevado | 50-80 Wh/kg | Medio |
| Ni-Mh (níquel-metal hydride) | 1,2 | 2-4 horas | 20 % | Medio | 60-120 Wh/kg | Medio |
| Li ion (ión litio) | 3,6 | 2-4 horas | 6 % | Medio - bajo | 110-160 Wh/kg | Alto |

Las baterías más utilizadas en sistemas fotovoltaicos son las de plomo-ácido, por las características que presentan, en cuanto a vida media (nº de ciclos) y capacidad.

La siguiente tabla muestra la comparativa de los modelos de plomo-ácido más usuales:

Tabla 4. Comparativa de baterías plomo-ácido. Fuente:MHEDUCATION

| TIPO | VENTAJAS | INCONVENIENTES | ASPECTO |
|----------------------------------|---|---|---|
| Tubular estacionaria | <ul style="list-style-type: none"> • Ciclado profundo. • Tiempos de vida largos. • Reserva de sedimentos. | <ul style="list-style-type: none"> • Precio elevado. • Disponibilidad escasa en determinados lugares. |  |
| Arranque (SLI, automóvil) | <ul style="list-style-type: none"> • Precio. • Disponibilidad. | <ul style="list-style-type: none"> • Mal funcionamiento ante ciclado profundo y bajas corrientes. • Tiempo de vida corto. • Escasa reserva de electrolito. |  |
| Solar | <ul style="list-style-type: none"> • Fabricación similar a SLI. • Amplia reserva de electrolito. • Buen funcionamiento en ciclados medios. | <ul style="list-style-type: none"> • Tiempos de vida medios. • No recomendada para ciclados profundos y prolongados. |  |
| Gel | <ul style="list-style-type: none"> • Escaso mantenimiento. | <ul style="list-style-type: none"> • Deterioro rápido en condiciones de funcionamiento extremas de V.I. |  |

2.3 TIPOS DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

Podemos distinguir tres tipos de sistemas fotovoltaicos:

- Sistemas aislados
- Sistemas conectados a red
- Sistemas híbridos

2.3.1 SISTEMAS FOTOVOLTAICOS AISLADOS

La principal característica de los sistemas aislados es que están equipados con sistemas de acumulación de energía.

Una configuración de este tipo implica que el generador fotovoltaico debe estar dimensionado de tal forma que permita, durante las horas de insolación, la alimentación de la carga y de la recarga de las baterías de acumulación.

2.3.2 SISTEMAS FOTOVOLTAICOS CONECTADOS A RED

Los sistemas fotovoltaicos conectados a la red eléctrica permiten maximizar la producción de energía eléctrica que es inyectada a la red.

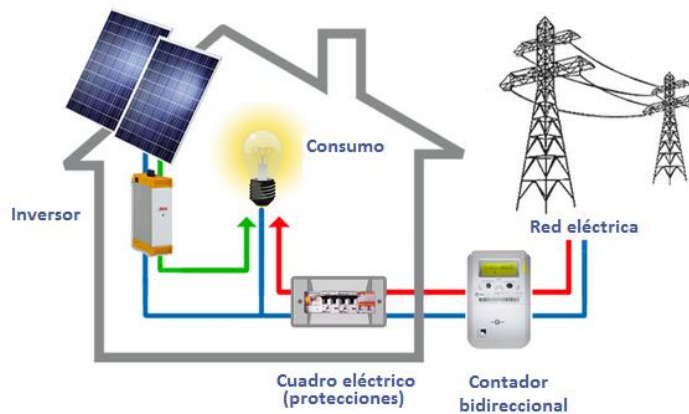


Ilustración 29. Sistema fotovoltaico conectado a red. Fuente: Ecotecnia

Las principales aplicaciones de estos sistemas son:

- Instalaciones en tejados de viviendas urbanas



Ilustración 30. Paneles fotovoltaicos en el tejado de una vivienda. Fuente: Ecoclimatico

- Plantas de generación de energía (centrales fotovoltaicas), inyectando toda su producción a la red eléctrica.



Ilustración 31. Vista aérea de la central fotovoltaica de Amareleja (Portugal). Fuente: Ecoclimatico

La potencia nominal de las instalaciones en viviendas, se sitúa en torno a los 5 kWp en viviendas unifamiliares y hasta 100 KWp en edificios de comunidad de viviendas.

En centrales fotovoltaicas, la generación de potencia es mayor a los 100 KWp.

Disponen de una conexión a la red eléctrica en media o alta tensión, con un centro de transformación en el que se eleva la tensión de salida de los inversores fotovoltaicos, adecuándola a la tensión de la línea eléctrica

Las centrales fotovoltaicas pueden ser de distintos tamaños, y abastecer desde zonas rurales pequeñas y alejadas, hasta contribuir a satisfacer la demanda de grandes ciudades.

Las instalaciones fotovoltaicas, consiguen una mayor eficiencia, debido a:

- Se evita que se produzcan pérdidas de transporte y distribución. Se consume en el mismo lugar donde se genera.
- Presenta pérdidas de transformación muy pequeñas. Los inversores operan típicamente a elevados niveles de eficiencia y en baja
- Al coincidir las horas de mayor producción con las de mayor consumo se consigue una mejor adecuación a la demanda.
- Al sustituir la energía producida mediante combustibles fósiles se reduce las emisiones de gases de efecto invernadero.
- Mejor aprovechamiento de la funcionalidad arquitectónica, lo que permite ahorro de costes e incrementa el valor añadido.

El siguiente gráfico muestra el intercambio de energía entre una instalación fotovoltaica doméstica y la red eléctrica:

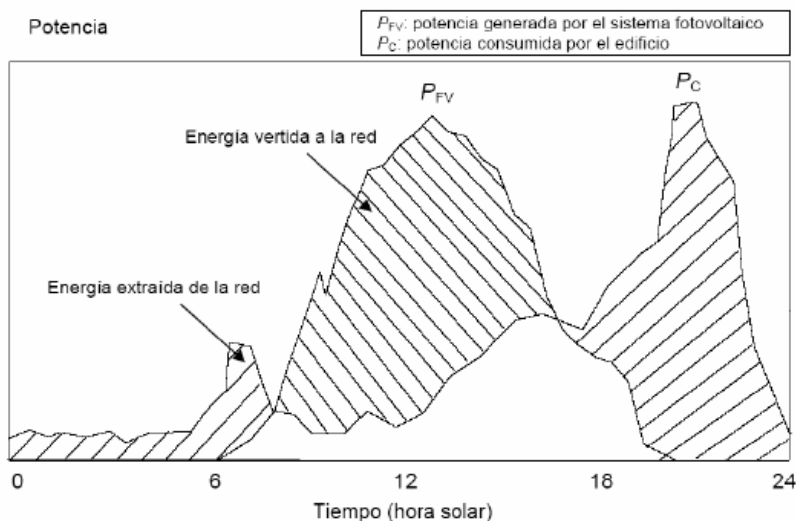


Ilustración 32. Potencia generada y consumida por un edificio con instalación fotovoltaica. Fuente: Entelsa

El esquema de un sistema fotovoltaico conectado a la red es el siguiente:

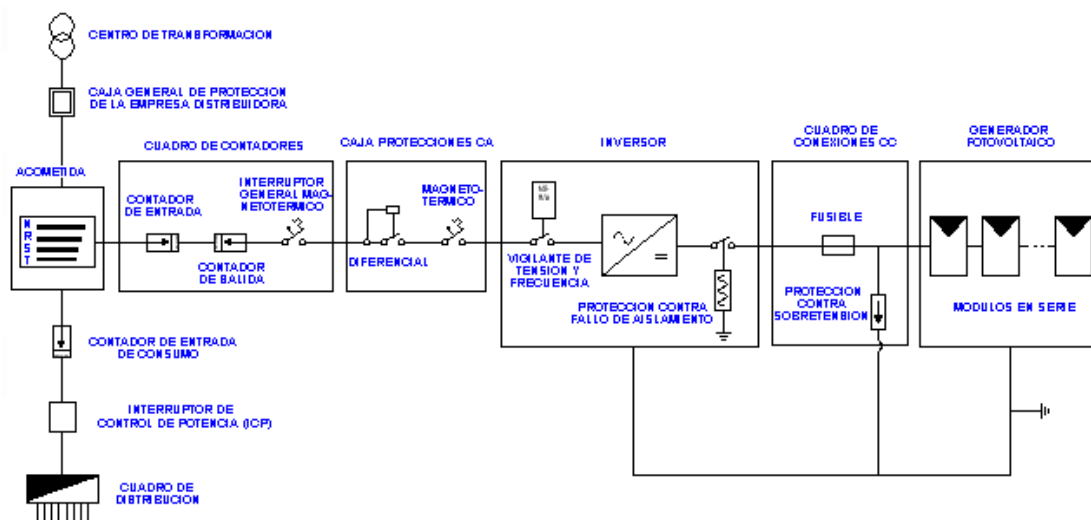


Ilustración 33. Esquema de un sistema fotovoltaico conectado a la red. Fuente: Innova S.L.

Tiene la estructura de un sistema fotovoltaico, añadiendo la conexión a la red, que consiste en:

- Cuadro de contadores bidireccional. Contabiliza la potencia consumida desde la red eléctrica, y la aportada a la misma.
- Cuadro de protección, contra picos de tensión o corriente, mediante diferenciales e interruptores magnetotérmicos.
- ICP o interruptor de control de potencia, para limitar la potencia nominal que se asigna a una instalación doméstica.
- Otras protecciones de potencia, hacia la red del proveedor.

2.3.3 SISTEMAS FOTOVOLTAICOS HÍBRIDOS

Los sistemas fotovoltaicos híbridos utilizan la energía de los paneles solares fotovoltaicos **combinada con otra fuente de energía**, como la eólica, o generadores diésel. Así satisfacen la demanda aprovechando en conjunto todos los recursos renovables de una zona.

Un diseño óptimo posibilita el suministro en todo instante la potencia eléctrica demandada. Sin embargo, dicho diseño de sistemas híbridos es muy complicado, debido a la variabilidad de la energía solar y de la demanda de la carga, así como las características no lineales de algunos componentes.

Lo más recomendado es los sistemas que cuenten con una fuente continua de energía. Por ejemplo un sistema PV-diesel (energía solar fotovoltaica y generador diesel).

El generador diesel es el encargado de suministrar potencia cuando se demandan valores elevados de potencia eléctrica.

Otro método de consumo óptimo es la implementación de un sistema de baterías que pueda aportar la mayoría de la potencia, durante el tiempo que la generación fotovoltaica es menor que la demanda.

Estas son otras de las ventajas de los sistemas híbridos:

- Las instalaciones fotovoltaicas y eólicas se complementan, ya que cuando no hay sol, suele soplar el viento.
- La electricidad producida por aerogeneradores es menor que la producida por paneles fotovoltaicos.
- Permite amortizar más rápidamente la inversión inicial.
- En sistemas conectados a red, disminuye la diferencia entre energía consumida desde la red e inyectada a la misma.

Un caso muy extendido a lo largo es el de hibridación triple, que consiste en un sistema que consta de una instalación solar fotovoltaica, una instalación eólica y motor diésel convencional.

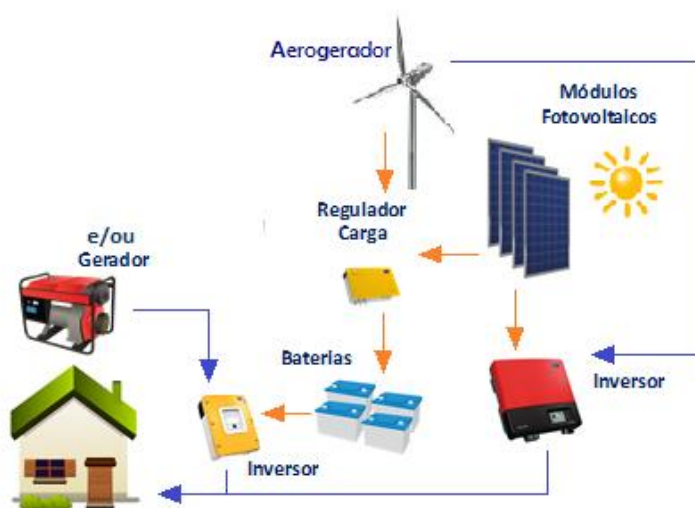


Ilustración 34. Esquema de sistema fotovoltaico híbrido. Fuente: Revosolar S.L.



CAPÍTULO 3. AUTOCONSUMO FOTOVOLTAICO: TOPOLOGÍAS Y ELEMENTOS. SITUACIÓN ACTUAL.

En este capítulo se profundiza en el autoconsumo eléctrico, desde los sistemas fotovoltaicos actuales.

Analizamos las ventajas y desventajas, las diferentes configuraciones y elementos que forman parte de los sistemas más extendidos, y la situación de desarrollo, política y económica del Autoconsumo a nivel global y en España.

AUTOCONSUMO

El autoconsumo fotovoltaico consiste en el autoabastecimiento de energía eléctrica para uso residencial o industrial, a partir de un sistema fotovoltaico previamente dimensionado para satisfacer las necesidades de consumo. La energía que el sistema no puede proporcionar se proporcionaría a través de baterías o se demandaría a la red eléctrica tradicional.

VENTAJAS

Entre las ventajas del autoconsumo respecto al consumo de la red se encuentran las siguientes:

- Los sistemas de autoconsumo fotovoltaicos utilizan la energía solar, una fuente gratuita, inagotable, limpia y respetuosa con el medioambiente.
- Con el abaratamiento de los sistemas de autoconsumo y el encarecimiento de las tarifas eléctricas, es más barato que producir su propia electricidad.
- Se reduce la dependencia de las compañías eléctricas.
- Se genera un sistema distribuido de generación eléctrica. Reduce la necesidad de invertir en nuevas redes y reduce las pérdidas de energía por el transporte de la electricidad a través de la red.
- Se evitan problemas para abastecer toda la demanda en hora punta, evitando cortes de electricidad y caídas de tensión.
- Se reduce la dependencia energética del país con el exterior.



CAPÍTULO 3. AUTOCONSUMO FOTOVOLTAICO

OBSTACULOS

Hasta hace unos años, uno de los principales obstáculos del autoconsumo era el coste de compra de los equipos. Pero ya ha dejado de ser un problema: los precios se han abaratado hasta un 80% en los últimos 5 años.

Mientras, los precios de la electricidad proporcionada por las compañías eléctricas han subido de forma continua, y se espera que lo sigan haciendo en el futuro próximo.

Otro obstáculo del autoconsumo es la intermitencia de la generación de electricidad. Por ejemplo, un sistema de placas solares por la noche no generará electricidad. Es por lo que se hace necesario un sistema de almacenamiento en caso de instalaciones aisladas. Ello encarece bastante el valor final del sistema.

En el caso de sistemas de autoconsumo conectados a red, la dependencia de baterías se reduce, pero los gatos se mantienen, ya que hay que sumar el coste de suministro, y los impuestos.

En España es el principal obstáculo del autoconsumo son las leyes que regulen el suministro eléctrico y el autoabastecimiento.

Se requiere una nueva normativa que regule todos los posibles escenarios. Y de la calidad de dicha normativa dependerá en gran medida el éxito o fracaso de este modelo. Tienen que conjugarse los intereses de muchos sectores y empresas, algunos de ellos con gran poder.

Esto supone un reto normativo que establezca qué se hace con la energía autoproducida sobrante y que defina los usos de la red de distribución por parte de los autoconsumidores. En gran parte, de ello dependerá la rentabilidad de este nuevo modelo de abastecimiento eléctrico.

Como veremos más adelante, las propuestas del actual Gobierno en 2015, no están encaminadas a favorecer el autoconsumo.

3.1 TOPOLOGIAS

Según su relación con la red eléctrica pública, podemos distinguir tres topologías:

Sistemas aislados

El sistema aislado se utiliza para producir electricidad que se consume en el instante o se almacena en una batería eléctrica para un posterior uso.

También podría considerarse la opción de no disponer de baterías y consumir de manera instantánea, con un perfil de demanda bajo. Este tipo de instalaciones son perfectamente legales, y requieren de un menor trámite burocrático.

Sistemas con conexión a red

El sistema con conexión a red permite verter los excesos de electricidad, es decir, la que no se consume, a la red eléctrica. Esto permite obtener un suministro de electricidad con mecanismos de compensación diferida o balance neto: un sistema de compensación de saldos, gestionado por las compañías eléctricas, que descuenta de la electricidad obtenida de la red, los excesos de producción del sistema de autoconsumo. Esta práctica está sujeta a la legislación vigente en cada país.

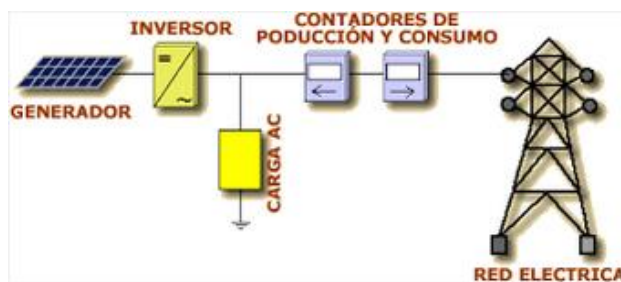


Ilustración 35. Esquema de un Sistema Autónomo con conexión a red. Fuente: Autosolar S.L.

Debemos añadir dos contadores, a la plataforma, uno para contar la electricidad que se consume desde la red, y otro para la energía que se inyecta en la red.

Sistemas conmutados con la red

También se puede hacer un sistema conmutado con la red; bien con un conmutador aparte o integrado en el inversor (ya los hay disponibles en el mercado), que conmutan la instalación solar con la de la red en 10 milisegundos; con lo que convertimos la instalación solar en una aislada, pues nunca se "toca" con la compañía. Hacen falta unas baterías de acumulación, lo que lo encarece demasiado la instalación en comparación con la de conexión, pero puede acogerse a la legislación aislada.



3.2 ELEMENTOS DE UN SISTEMA DE AUTOCONSUMO FOTOVOLTAICO

Como ya se estudió en el capítulo 2, un sistema de autoconsumo fotovoltaico está formado básicamente por el **conjunto de paneles fotovoltaicos y un inversor**, que convierta la corriente en AC.

En el caso de sistemas autónomos conectados a red, debemos disponer de dicha conexión a red, y dos contadores (de inyección a la red y de inyección a la red interna de consumo).

Algunas marcas que fabrican **paneles fotovoltaicos** para el autoconsumo son **Suntech, Yingli, First Solar, Sharp Corporation y Phoenix Solar**. En España, destacan **Isofotón, Solaria y Atersa**.

Algunas marcas que fabrican **inversores** para conexión a red en autoconsumo son SMA Solar Technology AG, Steca, Sputnik Engineering, SolarEdge, etc. En España destaca **Xantrex**, con modelos que combinan inversor y regulador de carga de las baterías.

Obligatoriamente en sistemas autónomos con perfiles de consumo medio-alto, y recomendable en los sistemas con conexión a red en los que queremos ahorrar, debemos añadir un **sistema de baterías, con un regulador de carga**, con la finalidad de alargar su vida útil y de protegerlas frente a sobrecargas y sobredescargas.

Los principales fabricantes de baterías para sistemas de autoconsumo son **PowerTech, Exide, Rolls, Hawker, Fiamm, Hoppecke**, etc.

3.2.1 BATERIAS TESLA

Tesla Motors presentó en mayo de 2015 una **batería doméstica** destinada, según sus propias palabras, a cambiar “la totalidad de las infraestructuras energéticas del mundo”.

Su invento, bautizado como **Tesla Powerwall**, es un dispositivo de uso doméstico capaz de almacenar la electricidad suministrada por paneles solares instalados en el tejado de una vivienda.

Se trata de una especie de pequeño armario que contiene baterías de ion-litio, como las de los teléfonos móviles, pero capaces de almacenar hasta 10 KWh de electricidad, que puede ser utilizada después en las horas nocturnas, o en los períodos de máximo consumo.

El invento promete ser la pieza clave para hacer posible la **independencia energética de los consumidores**. De hecho, la combinación de paneles solares con baterías capaces de almacenar su energía de manera eficaz podría significar para el dejar pagar facturas a las compañías eléctricas.

La batería soporta temperaturas de entre los -20°C y los 43°C , lo que permite su funcionamiento prácticamente en cualquier latitud y época del año.

Se prevé que pueda llegar a zonas sin infraestructuras eléctricas clásicas, **reduciendo la desigualdad económica**, y permitiendo el avance de las comunidades aisladas, en cualquier punto del planeta.

El sistema, además, es “**escalable**”, por lo que es posible ir añadiendo más unidades a la primera hasta cubrir cualquier necesidad energética. Todas las unidades estarán conectadas a internet y monitorizadas por Tesla Energy.

Su precio (sin instalación) será de **3.500 dólares** y empezará a venderse en Estados Unidos este año 2015. Más adelante, a partir de 2016, comenzará su comercialización en el resto del mundo.

Aunque ya existen soluciones similares presentadas por otras firmas (ninguna con demasiado éxito), la **Tesla Powerwall** es, según sus fabricantes, la más fiable, eficiente y económica.



Ilustración 36. Prototipo de Batería Powerwall de Tesla. Fuente: Mediatrends

Muy probablemente, será una pieza fundamental en el futuro de los sistemas de autoconsumo fotovoltaico, y podría ser el impulso definitivo para la implantación de esta tecnología.

3.3 BALANCE NETO

La modalidad de suministro eléctrico con balance neto es un **sistema de compensación de saldos de energía de manera instantánea o diferida**, que permite a los consumidores la producción individual de energía para su propio consumo, compatibilizando su perfil de producción con su curva de demanda.

Es decir, **permite verter a la red eléctrica el exceso** producido por un sistema de autoconsumo con la finalidad de poder hacer uso de ese exceso en otro momento. De esta forma, será la compañía eléctrica la que proporcione la electricidad cuando la demanda sea superior a la producción del sistema de autoconsumo, y se descontará en el consumo los excesos vertidos a la misma.

Este sistema permite, por ejemplo, descontar los kWh producidos en vacaciones, cuando no estemos en casa.

La siguiente gráfica indica cómo es la curva de consumo típica de un sistema autónomo.

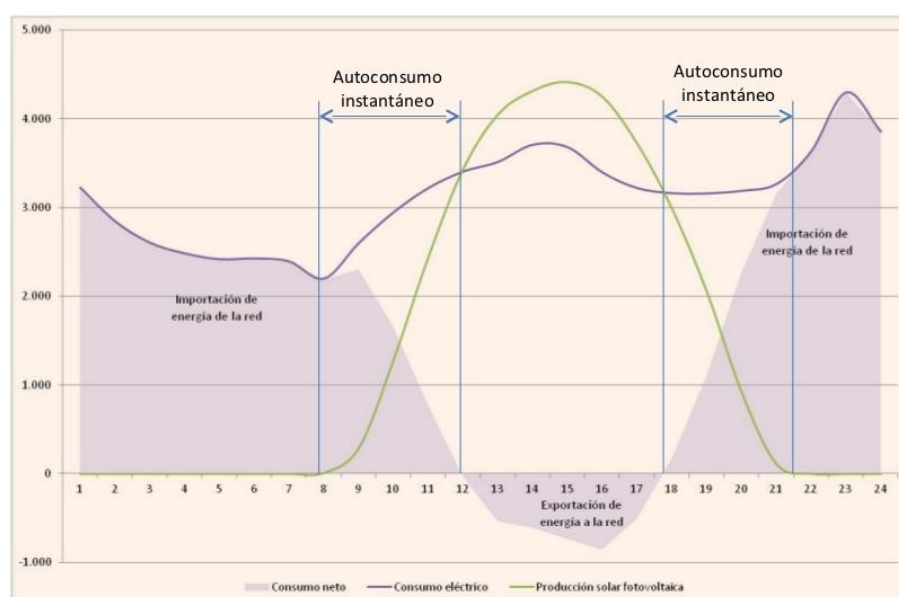


Ilustración 37. Curva de consumo y producción eléctrica, con el consumo neto. Fuente: UNEF.

La mayor parte del tiempo se consume la energía proporcionada por la red, pero en momentos de mayor producción, el exceso se devuelve a la red eléctrica. Entre ambos periodos hay zonas de **autoconsumo instantáneo**, en el que toda la energía generada es consumida, y además puede necesitar del consumo desde la red.

Atendiendo a la diferencia en el tratamiento de los excedentes de energía, existen dos tipos de balance neto: **el puro** (denominado simplemente “balance neto”) y **el mixto**.

El primero funciona sin remuneración de excedentes, a través de compensaciones en facturas futuras; en el segundo se remunera la energía excedentaria vertida a la red. Ambos modelos son utilizados en otros países.

En España estaba regulado por el Real Decreto 1699/2011 del Gobierno de España del 18 de noviembre de 2011, en el que se apuesta por el primer tipo: el balance neto puro, sin que se pague directamente al productor-consumidor por la energía vertida, sino a través de otras formas de compensación.

El actual RD 900/2015, de 9 de octubre, elimina el balance neto puro, por el balance mixto, sólo para sistemas de más de 100 kWh, registrados en la base de datos. El precio del kWh volcado a la red dependerá del momento en que se efectúe el vertido.

3.4 AUTOCONSUMO FOTOVOLTAICO EN EL MUNDO

Con la idea de comparar las diferentes alternativas que se están aplicando en el mundo para el autoconsumo, se realiza un repaso de la situación del mismo en varios países.

A continuación se realizará la comparativa del caso español con los demás países.

3.4.1 ESTADOS UNIDOS

En los Estados Unidos todas las operadoras eléctricas, gracias a la Ley de Política Energética (2005), deben ofrecer tarifas de autoconsumo en balance neto, a la petición de cualquier usuario que desee acogerse a este modelo.

Cada estado tiene sus propias variantes en cuanto a la potencia máxima que pueden tener las instalaciones residenciales e industriales.

El siguiente gráfico muestra esos valores tan dispares:

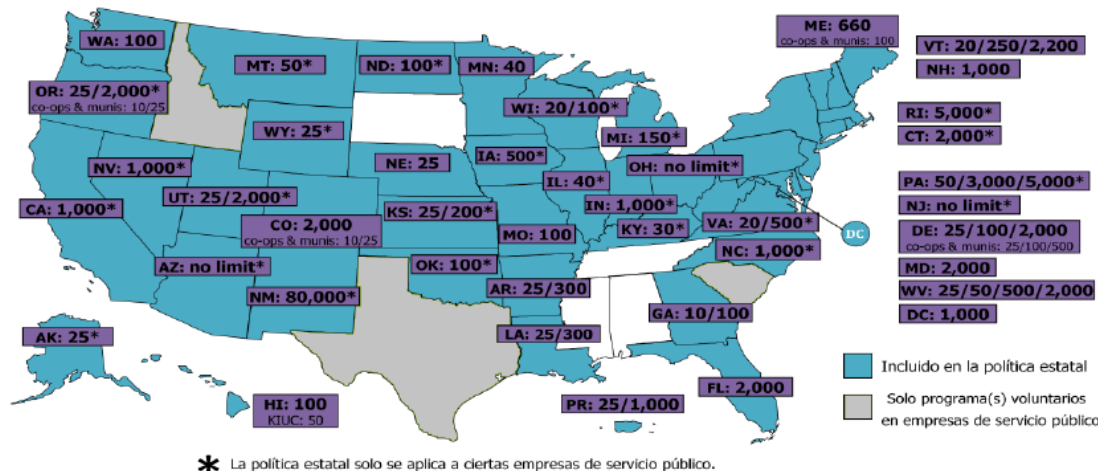


Ilustración 38. Mapa del Autoconsumo en EEUU, con valores de generación en kW residencial e industrial. Fuente: DSIRE



CAPÍTULO 3. AUTOCONSUMO FOTOVOLTAICO

Pueden ir desde los 40 kW hasta los 80.000 kW como en Nuevo México, sin distinción de la finalidad.

Los estados con una calificación más favorable para el autoconsumo por balance neto son Colorado, Maryland y New Jersey.

Así pues, la mayoría de los Estados fomentan el autoconsumo, aunque la forma de regularlo varía: algunos se decantan por el balance neto puro, otorgando créditos para la energía excedente, y otros apuestan por el balance neto mixto, donde se prima económicamente la electricidad.

3.4.2 SUDAMÉRICA

Brasil

El 17 de abril de 2012 la Agencia Nacional de Energía Eléctrica (ANEEL) aprobó una ley destinada a fomentar la generación distribuida y el autoconsumo de las instalaciones de pequeña potencia. La norma distingue entre dos grupos: micro-generación (hasta 100kW) y mini-generación (de 100kW a 1MW).

La propia normativa crea el Sistema de Compensación de Energía (SCE), que regula el autoconsumo. Cuando se genere más energía de la que se consuma se obtendrá un crédito, que puede ser utilizado en un periodo de 36 meses. Además, las empresas con filiales y las empresas públicas pueden utilizar el excedente en otra instalación.

Los costes de ajuste del sistema para implementar el SCE corren a cargo de los consumidores.

Argentina

Si bien aún no cuenta con una ley nacional para el balance neto, sí hay provincias que están realizando avances concretos, como por ejemplo la provincia de Chubut con la ley XVII N°107 con un sistema de créditos sobre lo consumido por 36 meses, similar al de Brasil. Se han aprobado sistemas de medición neta aislados a particulares, por ejemplo en la provincia de Santa Fe.

Chile

En 2011, Chile se sumó a la apuesta del autoconsumo por balance neto, por el que los consumidores se benefician de descuentos en su factura y reciben un ingreso por la producción neta que inyectan en la red de distribución.



3.4.2 ASIA Y OCEANIA

Japón

En 2005, Japón eliminó las ayudas directas a la fotovoltaica y en régimen de autoconsumo: los excedentes generados pasaban a ser de la compañía distribuidora sin compensación alguna, por lo que el mercado solar se precipitó.

En 2009, el Gobierno estableció una tarifa para esa electricidad excedentaria, que consiguió que la potencia instalada se duplicara en 2010 y 2011.

El desastre nuclear de Fukushima en marzo de 2011 supuso un cambio estratégico en el país nipón, ya que hasta entonces, la energía nuclear ocupaba un lugar predominante.

El esquema del autoconsumo es parecido al de los Estados Unidos, pero de ámbito municipal, donde los autoconsumidores residenciales tienen un subsidio para la instalación.

Además, las compañías eléctricas tienen la obligación de comprar el exceso de electricidad generada por las instalaciones fotovoltaicas durante un periodo de diez años. Se incentiva que los clientes auto-consuman durante los periodos donde el coste de la energía es más alto.

Desde julio de 2012 cambian los precios de compra del balance neto por las nuevas tarifas (FiT). Consisten en el pago de 42¥/kWh para las instalaciones residenciales de menos de 10kW, mientras que las mayores de 10kW y los edificios no residenciales recibirán 40¥/kWh.

Australia

El sistema de incentivos australiano funciona a través de cuotas: Las compañías eléctricas están obligadas a adquirir un determinado porcentaje de energía de fuentes renovables, utilizando la fórmula de los Certificados de Energía Renovables (CER), que son bonos de energía generada por fuentes renovables.

La crítica que se hace a este sistema es la incertidumbre que genera dada la fluctuación constante de los precios.

Como incentivo se paga la energía inyectada por los autoconsumidores a un precio más alto. En Victoria, desde 2009 la energía excedentaria se paga tres veces más que el precio de la electricidad en el mercado residencial. Algo parecido ocurre en Queensland desde 2008 con un sistema de bonos solares.

3.4.3 UNIÓN EUROPEA

Los países de la Unión Europea tienen como base para su normativa individual la Directiva Europea 2009/72/CE, en la que se establecen normas comunes en materia de generación, transporte, distribución y suministro de electricidad, y la Directiva 2006/32/CE, sobre la eficiencia del uso final de la energía.

Además, la UE ha apostado por la iniciativa “20-20-20”: pretende reducir un 20% el consumo de energía primaria y las emisiones de gases causantes del efecto invernadero, así como elevar otro 20% la contribución de las energías renovables en el consumo en 2020.

España está aún lejos de ese 20%, mientras que otros países como los escandinavos, lo han superado con creces:

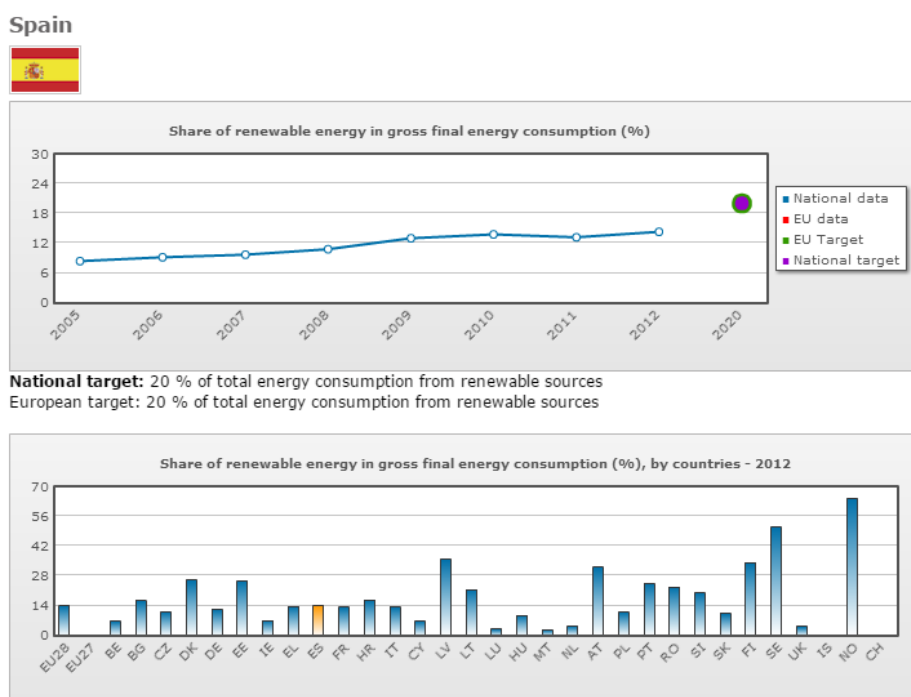


Ilustración 39. Evolución del cumplimiento del 20% de energía renovable, para España y la UE. Fuente: Eurostat

En Europa, el modelo trata de promover la introducción de este tipo de energía a la red eléctrica mediante una tarifa de suministro o **“Feed in tariff” (FIT)**.

Este modelo tiene como principal característica la fijación de un mínimo de precios para cada tecnología. Los generadores de energía mediante fuentes renovables reciben una tarifa garantizada por un periodo de tiempo determinado, lo que aumenta el atractivo al disminuir los riesgos de la inversión.

Su principal inconveniente es el sobreprecio que los clientes finales pueden llegar a pagar por la energía consumida, ya que al evolucionar la tecnología, los costes de producción caen, pero la tarifa se mantiene.



CAPÍTULO 3. AUTOCONSUMO FOTOVOLTAICO

Más del 60% de los países del continente han apostado por este sistema, entre ellos Alemania, Italia, y Suecia.

En los últimos años se están produciendo muchos cambios en cuanto a la regulación del autoconsumo por balance neto.

Como veremos a continuación, la situación es muy dispar. **Mientras Reino Unido y Alemania, incentivan el autoconsumo, las leyes en Francia y España, ponen trabas al desarrollo de planes de autoconsumo.**

ALEMANIA

Desde 2004, ha obtenido un gran crecimiento en cuanto a capacidad instalada de energía fotovoltaica, gracias al plan EEG (“Acción para las Fuentes de Energía Renovables”).

Su crecimiento ha sido relativamente constante, frente a comportamientos más irregulares de otros países como España o la República Checa. De 2010 a 2011 batió su propio récord, con una cifra de 7.485MW instalados. Su objetivo es alcanzar los 40GW en 2020.

Para regular el autoconsumo, Alemania ha elegido el sistema de **balance neto mixto**, con una potencia máxima permitida de 500kW por instalación. En cuanto a la electricidad inyectada a la red existe una tarifa “FiT”. Alemania fue uno de los primeros países en adoptarla.

Los productores tienen unos incentivos garantizados durante veinte años.

El autoconsumo está permitido tanto para el sector residencial como el industrial, pero solo en el lugar donde se encuentra la instalación. Aunque puede ser llevado a cabo por un tercero que no sea el propietario.

Por su parte, la compañía operadora de la red tiene la obligación de conectar la instalación del cliente, así como inyectar, recibir y distribuir la energía.

Para intentar que hubiera un mínimo de autoconsumo instantáneo se primaba más si ese acoplamiento era mayor del 30%, algo que ha desaparecido para las nuevas instalaciones desde el 23 de febrero de 2012.

REINO UNIDO

El mercado británico avanzó mucho en 2011 gracias a los cambios normativos, que definían las nuevas tarifas para 2012 y que reducían por encima del 50% los incentivos de instalaciones fotovoltaicas de pequeño tamaño

En 2011 se instalaron en el Reino Unido 784MW frente a los 91MW de 2010, pasando de 91MW instalados a 875MW.



CAPÍTULO 3. AUTOCONSUMO FOTOVOLTAICO

El Gobierno ha anunciado un ambicioso plan para 2020, lo que refleja la concienciación del país respecto a esta tecnología.

No existe distinción normativa entre consumidores residenciales y comerciales. Conviven tres tipos de tarifa:

- la de generación, que se aplica para toda la electricidad producida
- la de exportación, para los kWh generados en exceso
- y la de importación, la que paga el cliente final en el punto de consumo.

Es decir, se compra la electricidad cuando se necesita y se exporta cuando se genera de más, a cambio de una compensación económica. Toda la energía producida se incentiva mediante la tarifa de generación, pero además la energía exportada recibe una compensación añadida, la tarifa de exportación.

Si no existe monitorización, se considera una exportación del 50%.

FRANCIA

Las instalaciones de menos de 100kW se benefician de una tarifa FiT. Para el productor existen dos opciones, la venta de la energía o el balance neto.

Pero actualmente sale más rentable vender toda la energía producida, ya que muchas tarifas fueron fijadas para los siguientes veinte años, por lo que este sistema se impone claramente al del balance neto. A medida que las tarifas se reduzcan y aumente el precio de la electricidad, el autoconsumo supondrá una opción más interesante.

El mercado fotovoltaico francés pasó de 719MW de potencia en 2010 a 1.671MW en 2011, tras incentivos, que a día de hoy no se mantienen.

ITALIA

La tecnología fotovoltaica italiana está caracterizada por las trabas y los constantes cambios normativos.

El programa de energías renovables (Conto Energia) se definió el objetivo de llegar a los 23GW en 2016, que sustituye a la anterior meta de 2010 que planeaba llegar a los 8GW en 2020.

Han apostado por un modelo de combinación entre la compensación económica y el crédito del exceso de producción por tiempo indefinido llamado “Scambio sul posto”. Este sistema se basa en el equilibrio entre energía generada y consumida, y ofrece la posibilidad de inyectar la energía producida a tarifa incentivada en la red eléctrica y poder consumirla posteriormente.

Se pueden acoger a esta fórmula instalaciones con una potencia instalada menor de 20kW o aquellas de entre 20kW y 200kW puestas en servicio a partir de 2008. El balance se hace una vez al año, y en él se valoran tanto la electricidad inyectada a la red como la consumida. Dependiendo de ese valor reciben un crédito o un abono.

Sin embargo, en el primer trimestre de 2012 la construcción de nuevas instalaciones cayó en picado, debido a nuevos cambios y la reducción en la ayuda a las renovables, hasta los 500 millones de euros anuales.

La inseguridad política y normativa del país hace que el panorama sea difícil de prever.

CONCLUSIONES

El siguiente cuadro compara la situación legal en los principales países de la UE:

| |  |  |  |  |  |
|--|--|---|---|---|--|
| A favor del autoconsumo | Bono económico por autoconsumo fotovoltaico, con volcado a la red | Autoconsumo permitido legalmente. No hay soporte de bonos o incentivos | Autoconsumo permitido legalmente. Remunera la electricidad generada, tanto para autoconsumo como para inyección | Ningún incentivo. Se eliminaron los incentivos a instalaciones. | Autoconsumo legalmente permitido. Incentivos altos a la instalación |
| Barreras legales al autoconsumo | Sólo hay incentivos para instalaciones sin impacto estético o sonoro, y que no superen 500kW de generación | | Limitado a instalaciones de 5 MW | No hay incentivos. Se ha presentado un "impuesto al sol" por autogeneración. | No hay pagos por volcar excesos a la red |
| Evaluación | No está generalizado a todas las instalaciones, y hay reformas constantes de la normativa | Las tarifas FIT son mayores que el precio estándar de la electricidad. No hay ningún incentivo | Marco legal muy favorecedor. | Condiciones legales muy adversas. Es más caro la generación que el consumo | Soporte con marco legal complejo. Altos incentivos a la instalación, pero no al volcado. |
| |  Condiciones favorables |  Condiciones moderadas |  Condiciones Adversas | | |

Ilustración 40. Comparativa de las condiciones para el autoconsumo en países de la UE. Fuente: SunEdison

Como se ha visto más arriba, existen barreras legales y económicas para el desarrollo del autoconsumo. **Son necesarias nuevas políticas a nivel europeo y nacional para poder solventarlas: La creación de una Directiva Europea para el futuro, y modificar las normas actuales para que el balance neto sea una opción real.**

La mayoría de casos las leyes existentes no regulan el autoconsumo de manera explícita ni indican cómo será tratado una vez que la eliminación de las barreras económicas conduzca a la aparición de este tipo de modelos de negocio.

También encontramos barreras de índole económica, como en Francia, donde se incentiva más inyectar toda la energía en la red que el autoconsumo.

A largo plazo, estas barreras disminuirán a medida que el precio de la electricidad aumente y el precio de generar energía con tecnología fotovoltaica se reduzca.

Los consumidores pueden ahorrar parte de la cantidad variable proporcional a la energía autoconsumida, lo que implica menos ingresos por tasas y uso de la red por parte de las compañías eléctricas.

Si el autoconsumo se convierte en algo habitual para muchos ciudadanos, podría ser un riesgo para las compañías eléctricas, ya que algunas tasas y el coste de operación de la red permanecerían constantes. Ello podría producir un cambio en la estructura de costes que gravara el autoconsumo, y dejara de ser una opción interesante.

Sin embargo, hay algunos argumentos que rebaten este inconveniente: la pérdida de tasas es probable que sea compensada en parte por otras procedentes de la instalación de sistemas fotovoltaicos;

En todos los casos, hay que proponer un balance adecuado para cada país a la hora de implementar la normativa.

El siguiente gráfico muestra la posición de los países de nuestro entorno, frente al autoconsumo, en cuanto a barreras:



Ilustración 41. Barreras al autoconsumo en Europa, según SunEdison. Modificado.

3.5 AUTOCONSUMO FOTOVOLTAICO EN ESPAÑA

El autoconsumo está permitido en España, pero su regulación está aún pendiente de despejar muchas incógnitas.

Resulta extraño comprobar el impacto negativo de la incapacidad del Gobierno para desarrollar el autoconsumo y la generación distribuida.

En un reciente estudio desarrollado por la fundación ISTAS establecía que el autoconsumo energético y la generación distribuida renovable tenían una potencia de creación 135.779 empleos en caso de establecer una regulación.



CAPÍTULO 3. AUTOCONSUMO FOTOVOLTAICO

Ello supondría que se podría instalar una potencia estimada en 11.261 MW de energía fotovoltaica.

3.5.1 LEGISLACIÓN DEL AUTOCONSUMO FOTOVOLTAICO EN ESPAÑA

Aunque hace años que el autoconsumo es un hecho, la ley no está al nivel de desarrollo de la tecnología.

Estas son las referencias históricas en la legislación nacional, en lo que autoconsumo se refiere:

- **Ley 38/1992 de Impuestos especiales artículo 64 quinto sobre exenciones**, dispone que estarán exentas las siguientes operaciones: 1. La fabricación de energía eléctrica en instalaciones acogidas al régimen especial que se destine al consumo de los titulares de dicha instalación. 2. La fabricación, importación o adquisición intracomunitaria de energía eléctrica que sea objeto de autoconsumo en las instalaciones de producción, transporte...”

- **Ley 54/1997 del Sector eléctrico en el artículo 9 donde especifica:** “Los productores de energía eléctrica, que son aquellas personas físicas o jurídicas que tiene la función de generar energía eléctrica ya sea para su consumo propio o para terceros, así como la de construir, operar y mantener las centrales de producción”.

Aparece así la posibilidad de autoconsumo y venta.

- **RD 1995/2000** donde se regulan las actividades de transporte, distribución, comercialización, suministro y procedimientos de autorización de instalaciones de energía eléctrica: 1. “Tendrán derecho de acceso a la red de distribución los productores, los **autoprodutores**, los distribuidores, los comercializadores, los agentes externos y los consumidores cualificados” 2. “Este derecho solo podrá ser restringido por la falta de capacidad necesaria, cuya justificación se deberá exclusivamente a criterios de seguridad regularidad o calidad de suministro” 3. “El acceso a la red de Distribución tendrá carácter de regulado y estará sometido a las condiciones técnicas, económicas y administrativas que fije la Administración”

Así se menciona el autoconsumo, con equipos conectados a la Red de Distribución.

- **RD 842/2002** define en su artículo 2 tres tipos de instalaciones: Instalaciones generadoras interconectadas: Aquellas que estén, normalmente, trabajando en paralelo con la Red de Distribución Pública” [...]

4.4.3 “Equipos de maniobra y medida a disponer en el punto de interconexión. En el origen de la instalación interior y en un punto único y accesible de forma permanente a la empresa distribuidora de energía eléctrica, se instalará un interruptor automático, sobre el que actuarán un conjunto de protecciones. 24 Éstas deben garantizar que las faltas

internas de la instalación no perturben el correcto funcionamiento de las redes a las que estén conectadas y en caso de defecto de estas, debe desconectar el interruptor de la interconexión que no podrá reponerse hasta que exista tensión estable en la Red de Distribución Pública”. En el mismo punto se especifica que para la entrega de energía a la red de distribución se dispondrá de un equipo de medida que registre la energía suministrada.

- **RD 314/2006** aprueba el **Código Técnico de la Edificación (CTE)**. En este real decreto ya se contempla la posibilidad de conectar instalaciones solares fotovoltaicas ubicadas en edificios, en puntos de conexión que no pertenezcan a las compañías distribuidoras. Sin embargo todo esto estaba orientado a grandes instalaciones. Para los pequeños consumidores con potencias inferiores a 100 kW, en viviendas unifamiliares o PYMES, se regularía en el **RD 1699/2011**.

- **RD 661/2007** se regula la actividad de producción de energía eléctrica en régimen especial. En este real decreto ya se reconoce la posibilidad de que una instalación generadora no vertiera nada a la red o que vertiera solo parte.

- **RD 1578/2008** de retribución de la actividad de producción de energía eléctrica mediante tecnología solar fotovoltaica para instalaciones posteriores a la fecha límite de mantenimiento de la retribución del RD 661/2007 para dicha tecnología.

Clasifica las instalaciones en 2 tipos:

- Tipo 1 Instalaciones ubicadas en cubiertas o fachadas de construcciones fijas destinadas a uso residencial, de servicios, comercial o industrial. O bien, ubicadas en estructuras fijas de soporte como la cubierta de un aparcamiento. Recibe entre 32 y 34 c€/kWh

- Tipo 2 Todas aquellas no incluidas en el tipo 1. Recibe 32 c€/kWh.

- **RD 1544/2011** por el que se establecen los peajes de acceso a las redes de transporte y distribución que deben satisfacer los productores de energía eléctrica.

Y llegamos a un RD clave para el autoconsumo en nuestro país:

- **RD 1699/2011**. Regula la conexión a red de instalaciones de producción de energía eléctrica de pequeña potencia (conocido como el RD del autoconsumo).

Se centra en temas administrativos como condiciones de solicitud, procedimientos de conexión, etc.



CAPÍTULO 3. AUTOCONSUMO FOTOVOLTAICO

Este real decreto es de aplicación a instalaciones de régimen ordinario y régimen especial, cuyas potencias no sean superiores a 100 kW

Otro de los aspectos de los que habla el presente Real Decreto es que el promotor necesita solicitar a la empresa distribuidora acceso a su red de distribución punto en el que llevarlo a cabo y las condiciones técnicas que deberá cumplir para la Potencia que desee instalar.

A partir de la recepción de la solicitud la empresa tendrá un plazo de un mes para mandar al solicitante una respuesta conjunta a las condiciones técnicas.

En caso de acatar el punto propuesto por el solicitante la empresa deberá adjuntar la aceptación de la propuesta del punto de conexión y del punto de medida junto a las coordenadas UTM, la tensión máxima y mínima en ese punto de la red.

Una vez realizada la conexión la empresa distribuidora deberá realizar una verificación de aquellos elementos que afecten a la seguridad del suministro.

Sin embargo para las instalaciones de potencias menores a 10 kW donde ya exista un suministro de potencia contratada igual o superior al de la instalación podrán conectarse en el mismo punto del suministro mediante un procedimiento abreviado.

• **RD 1/2012**, por el cual: “se procede a la supresión de los incentivos económicos para nuevas instalaciones de producción de energía eléctrica a partir de cogeneración, fuentes de energía renovables y residuos.”

Con carácter temporal y para mitigar unos costes demasiado elevados, hasta “la solución del déficit tarifario del sistema eléctrico”.

Los motivos son:

- la superación de los objetivos de potencia instalada para las tecnologías eólica, solar termoeléctrica y fotovoltaica.
- el riesgo de no cumplir la supresión del déficit tarifario a partir de 2013.
- el margen de maniobra existente hasta 2020 para cumplir con el nuevo Plan de Energías Renovables.

Y así se llega al último proyecto de RD, que pretende imponer nuevos impuestos al autoconsumo fotovoltaico. Dicho RD ha estado rodeado de polémica, y se le ha dado por llamar el RD del “impuesto al Sol”. **Se aprobó contra todo pronóstico el 9 de octubre de 2015.**

RD PARA AUTOCONSUMO: EL “IMPUESTO AL SOL”

Desde el Ministerio de Industria, Energía y Turismo se prometió la regulación de este tipo de autoconsumo entre finales del año 2014 y el primer trimestre de 2015.

El pasado 5 de junio de 2015, el Ministro D. José Manuel Soria, publicó el tercer borrador del **Real Decreto de Autoconsumo**, en el que se siguen fomentando medidas que plantean trabas a los ciudadanos que quieran producir su propia electricidad.

La UNEF sostiene que el RD da la espalda a las mejores prácticas de la UE y pide a la Comisión Europea que determine un marco comunitario para evitar iniciativas como la del Gobierno español, que van contra la democratización de la energía.

La **Comisión Nacional de la Energía** ya hizo un informe como consecuencia del anterior borrador (casi igual que este), en el que declaraba improcedente y además discriminatorio el **peaje de respaldo**, porque también discrimina el autoconsumo frente a otras medidas de ahorro energético como puede ser la iluminación led.

El RD trata de regular la conexión a la red de instalaciones de producción de energía eléctrica de pequeña potencia y establece la obligación de inscribirse en un Registro.

La ley establece la obligación de las instalaciones de autoconsumo de contribuir a la financiación de los costes y servicios del sistema en la misma cuantía que el resto de los consumidores.

Por ello, los autoconsumidores tendrán que **pagar un peaje de respaldo o cargo por otros servicios del sistema** previsto para aquellos que pretendan conectarse a la red para verter la energía sobrante y recoger a su vez electricidad.

Por lo tanto, si una persona quiere producir su propia electricidad con una fuente renovable tiene que pagar en primer lugar, cuando consuman energía de la red y en segundo lugar, **cundo consuman la propia energía que ellos mismos produzcan**.

España de esta forma, se convierte en un caso aislado de freno al autoconsumo energético, demostrando que los intereses de las eléctricas siguen prevaleciendo frente a los de la Ciudadanía.

No se aplicará a las instalaciones aisladas.

Sólo se pagará el kWh inyectado en red si se superan los 100 kWh de potencia, y está registrado en un segundo registro: el de los generadores de electricidad.

Los argumentos del Gobierno a favor del “impuesto al Sol”

1. **Pago de peajes.** El Gobierno cree que es “profundamente” injusto que un autoconsumidor conectado a la red no pague por los peajes de transporte y distribución, ni por los costes de los servicios que pagan todos los consumidores. De no hacerlo, se estaría recibiendo una subvención del resto de consumidores.

Al consumidor, con independencia de la modalidad de autoconsumo a la que esté acogido, se le aplicará el término fijo del peaje de acceso por la potencia contratada, y el término variable del peaje de acceso por la energía demandada de la red, al igual que se hace con cualquier consumidor que no autoconsume.

2. Un autoconsumidor que generara la electricidad que consume y **no está conectado a la red**, solo tendrá que pagar el coste de la inversión de la instalación. No pagaría ni el coste de la energía, ni el IVA, ni el impuesto de la electricidad.
3. **Respaldo del conjunto del sistema.** En el caso de un consumidor que pudiera estar acogido a una modalidad de autoconsumo, cuando su red se encuentre conectada al sistema, se beneficiará del respaldo que le proporciona el conjunto del sistema, aun cuando pueda estar autoconsumiendo electricidad producida por su instalación.
4. **Baterías.** No se impide que se instalen baterías de almacenamiento de energía eléctrica ni que se utilicen en el momento en que el consumidor considere oportuno. En el caso de que la batería se cargue desde la red, su tratamiento será como el de cualquier consumo eléctrico.
5. **Registro de autoconsumo.** Para el adecuado seguimiento de los consumidores acogidos a estas modalidades. Además establece planes de inspección de la aplicación de las condiciones económicas de los acogidos a distintas modalidades de autoconsumo.
6. **Retroactividad.** Se establece la obligación de adaptarse a la nueva normativa, para todos aquellos consumidores que ya estén realizando autoconsumo.
7. **Ahorro en las islas.** La generación eléctrica en las islas es más cara que en la península. El autoconsumo permitirá reducir el coste de generación en estos territorios, mejorando además la garantía de suministro. Se establece una reducción del pago de los costes regulados del sistema.

Argumentos de los autoconsumidores contra el “impuesto al sol”

Tanto la industria como las pymes y los hogares pueden tomar un papel activo en el sector eléctrico pasando a ser productores activos y autoconsumidores de energías renovables. El autoconsumo es un instrumento clave para la democratización de la energía.

Estos derechos, bien instrumentados deberían garantizarse para beneficiar a las personas vulnerables tanto a la pobreza energética como a los impactos más devastadores del cambio climático.

La oposición al autoconsumo, sólo puede entenderse por la sumisión a los intereses especuladores del oligopolio eléctrico español.

La propia Comisión Nacional de los Mercados y la Competencia reconoce el autoconsumo como “ineludible” para alcanzar nuestro objetivo comunitario en renovable en 2020.

En ese sentido, la Fundación Renovables, enumera un decálogo de actuaciones urgentes:

1. **Generar incentivos económicos o de otro tipo para facilitar que los consumidores autoproduciendo su energía.** En España, país con elevada insolación, elevado precio de la electricidad y bajo precio de la energía fotovoltaica, no haría falta ninguna prima o incentivo al autoconsumo, tan sólo evitar todo tipo de trabas.
2. **Promover el almacenamiento descentralizado de energías renovables** para activar medidas de gestión de la demanda y aumentar la capacidad de autosuficiencia gracias al autoconsumo.
3. **Eliminar impuestos y cargos discriminatorios sobre la energía autoconsumida.** No tiene sentido cargar con cánones e impuestos a una medida de eficiencia energética que además es de ejercicio del derecho universal al sol y que en sí no genera costes adicionales al sistema sino todo lo contrario.
4. **Derecho a percibir una compensación por la electricidad vertida a la red.** Normalmente las instalaciones pueden compensar en Balance Neto. La propuesta del Gobierno, sin embargo, quiere que los excedentes se regalen a las distribuidoras a menos que el consumidor quiera convertirse en empresario.

5. **Eliminar la retroactividad** y asegurar condiciones económicas predecibles y evitar la inseguridad jurídica.
6. **No limitar las ayudas con respecto a la potencia.** El RD no solo no incluye ayudas o facilidades sino que además limita la potencia a 100 kWp, ilegalizando las instalaciones de Pymes. Por ejemplo, una fábrica de cocinas en el norte de la Selva Negra (160 kW), daría un ahorro para la PYME de 1,9 millones de euros, durante la vida útil de la instalación.
7. **El autoconsumo es para todos los consumidores, no sólo para los de mayor poder adquisitivo.** Para ello se deberán poner en marcha instrumentos de financiación y administrativos adecuados.
8. **Emprender medidas estructurales para la erradicación de la pobreza energética.** El Proyecto de RD del Gobierno impide compatibilizar autoconsumo y el Bono Social.
9. **Garantizar un marco estable para la agregación de la demanda y para el autoconsumo compartido.** El RD tan sólo considera que el productor y el consumidor de una instalación de autoconsumo tienen que ser la misma persona.
10. **Proveer acceso directo y en tiempo real a los datos de consumo, producción y precio de la energía.** En RD indica que la única parte obligada a tener este acceso es la distribuidora y el ciudadano sólo tendrá acceso a sus datos a través de esta.

Se debe instar a la Comisión Europea que, desarrolle un marco regulador comunitario para el autoconsumo que tome la propuesta del Gobierno español como ejemplo de lo que no se ha de hacer.

Y al Gobierno, a retirar el proyecto de Real Decreto de Autoconsumo ya que viola todas y cada una de las mejores prácticas experimentadas por los países de la Unión Europea.

Un total de 18 partidos políticos han llegado a un compromiso con el desarrollo del autoconsumo “sin barreras” y han acordado derogar el real decreto que recientemente ha aprobado el Gobierno.

El manifiesto redactado por los partidos lleva también la firma de una amplia representación de la sociedad civil; entre los que figuran, consumidores (Adicae, Asgeco, Facua y OCU), sindicatos (CCOO y UGT), asociaciones empresariales (ACER, Aifoc, Anpier, APPA Fotovoltaica, UNEF o Pimec), ecologistas y otros movimientos sociales que defiende el derecho a la democratización de la energía.

3.6 PERSPECTIVA FUTURA

El futuro tiende hacia un mayor uso de las energías renovables, y eso se traduce en planes como el 20/20/20: la UE se plantea obtener el 20% de su energía a través de fuentes renovables, así como reducir su consumo de energía otro 20%, y establece un Plan de Acción Nacional en materia de Energía Renovables para cada estado miembro, el PANER.

Este documento calcula que en 2020 España habrá un saldo exportador de 25.000 GWh, siempre y cuando aumente la capacidad de interconexión del país con el resto del continente, actualmente la más baja de Europa.

El PANER analiza dos posibles escenarios para 2020, uno denominado “de referencia” y otro “de eficiencia energética adicional”. En este último, se prevé que las energías renovables aumenten un 6,34% de media anual, aportando cerca de 152.000 GWh en 2020 y un porcentaje de generación eléctrica próximo al 40%, correspondiendo a la solar fotovoltaica el 3,6%.

Dicho documento estima que la contribución fotovoltaica será de 14.316 GWh en 2020, con una potencia acumulada total de 8.367 MW. Un 67% de ella se correspondería con instalaciones fijas en edificaciones.

El PANER augura una mayor penetración a partir de 2017 en sistemas para autoconsumo de energía conectados a la red de distribución y asociados a suministros existentes, según se vaya alcanzando la paridad del coste de generación solar con el precio de la electricidad para el consumidor.

Con el PANER coexiste en España, con el Plan de Energías Renovables (PER) 2011-2020. En él, se prevé que para el año 2020 la participación de las energías renovables sea del 22,7% sobre la energía final. El mayor desarrollo de las fuentes renovables en España correspondería a las áreas de generación eléctrica, con una previsión de la contribución de las energías renovables a la generación bruta de electricidad del 42,3% en 2020. Este objetivo está 2,7 puntos por encima del europeo.

Si se habla solo de energía solar fotovoltaica, el reto principal radica en seguir mejorando la tecnología para reducir costes, acercándose de esa forma a la paridad de red, y la



CAPÍTULO 3. AUTOCONSUMO FOTOVOLTAICO

integración técnica en la red. En el plano normativo, el objetivo debe ser eliminar barreras burocráticas y administrativas. El sector eléctrico camina hacia un modelo distribuido y hacia el autoconsumo, por lo que una regulación adecuada del balance neto se antoja fundamental.

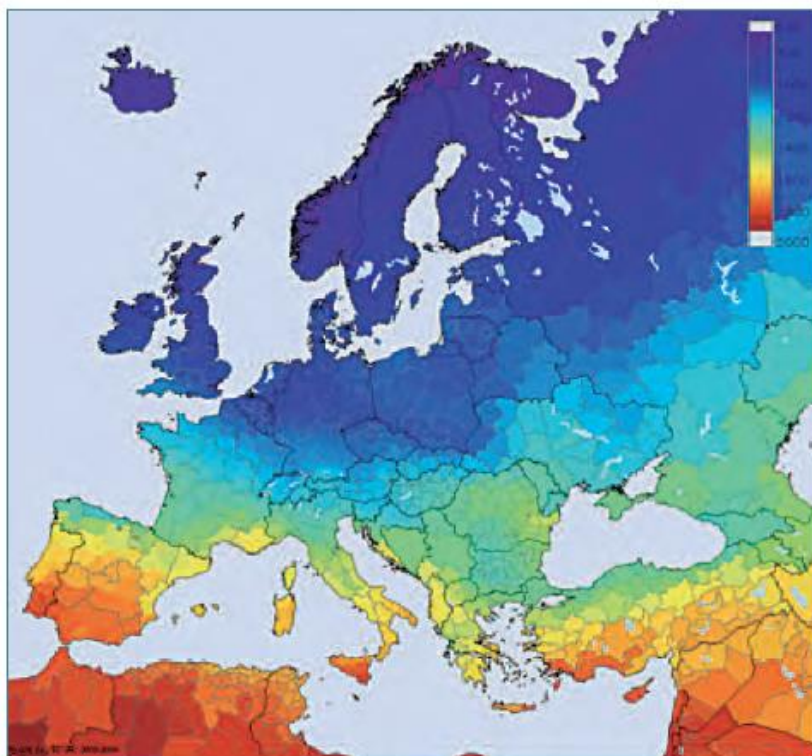
CAPÍTULO 4. SIMULACIONES DE AUTOCONSUMO: ANÁLISIS Y RESULTADOS.

A continuación se estudia la **viabilidad, eficiencia y rentabilidad** de los sistemas de autoconsumo, de un modo práctico.

El potencial de la Energía Fotovoltaica, para Autoconsumo, es bastante alto, debido a la locación de nuestro país, y su singularidad climática.

En el siguiente mapa, podemos ver como España recibe la mayor radiación de los países europeos.

RADIACIÓN ACUMULADA GLOBAL PARA SUPERFICIES
HORIZONTALES EN ZONAS DENSAMENTE URBANIZADAS
(promedio por regiones)



FUENTE: INSTITUTO DE ENERGÍA Y TRANSPORTE DE LA COMISIÓN EUROPEA

Ilustración 42. Radiación Acumulada Promedio en Europa. Según el IET de la UE

Esta situación, nos coloca en una **posición estratégica** para el desarrollo del Autoconsumo Fotovoltaico.

Para profundizar en los aspectos del Autoconsumo Fotovoltaico, se han estudiado varias simulaciones realizadas con ayuda del programa **iHoga 2.2 (Hybrid Optimization by Genetic Algorithms)**, para el Diseño y Control Óptimos de Sistemas de Energías

Renovables Híbridos, mediante Métodos Enuméricos y Algoritmos Genéticos (ver Anexo II). Creado por el profesor **Dr. D. Rodolfo Dufo López**.

4.1 SIMULADOR iHOGA 2.2

iHoga 2.2 nos permite conocer los costes económicos y medioambientales de una instalación fotovoltaica, y elige por nosotros las mejores combinaciones de equipamiento, que se ajusten a las características de la instalación, tanto del sistema como climatológicas, de la zona dónde se emplaza la instalación.

Incorpora multitud de elementos, que pueden formar parte del sistema autónomo, como muestra el siguiente esquema:

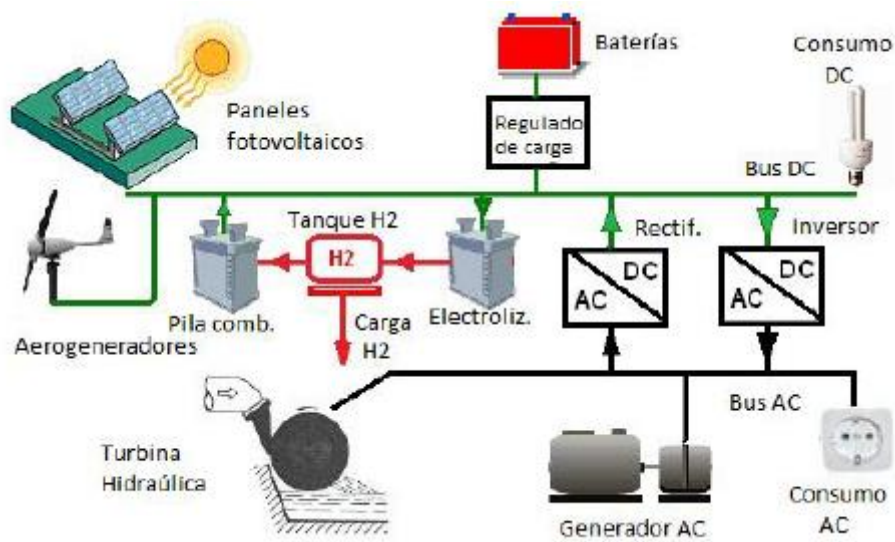


Ilustración 43. Esquema con todos los elementos disponibles en iHoga 2.2

Hay disponibles **4 fuentes** de Energía Renovable:

- Paneles Fotovoltáicos
- Aerogeneradores
- Turbina Hidráulica
- Pila H2 (con tanque de H2, y electroizador)

Y dos fuentes de Energía no Renovable, que garanticen la disponibilidad de electricidad cuando el sistema no pueda atender la demanda (por falta de recursos naturales, o picos de demanda):

- Generador AC (Gasóil, aunque puede tener otra fuente de energía).
- Conexión a la Red Eléctrica pública.

Además de todo ello, también incluye la inclusión de **baterías**, para el almacenamiento de la energía que no se dedica a consumo, así como del **regulador de carga** que hace más eficiente el proceso de carga y descarga de las mismas.

Para adaptar la corriente generada (en DC) a la red eléctrica (en AC), se añaden diferentes modelos de inversores. También convertiría la electricidad en AC a DC, para abastecer el consumo en DC, y la alimentación de las baterías, en caso de que fuera necesario.

Uniendo todo estos elementos conseguimos un Sistema Fotovoltaico Autónomo, con el que estudiar los siguientes casos prácticos.

4.2 CASOS DE ESTUDIO

Las simulaciones se dividen por zonas con distinta radiación solar. Para cada una, se ha elegido un punto en concreto de la geografía, y estudiaremos la viabilidad del autoconsumo en dicha zona.

Según el mapa proporcionado por el CTE, en España podemos distinguir 5 zonas de radiación:

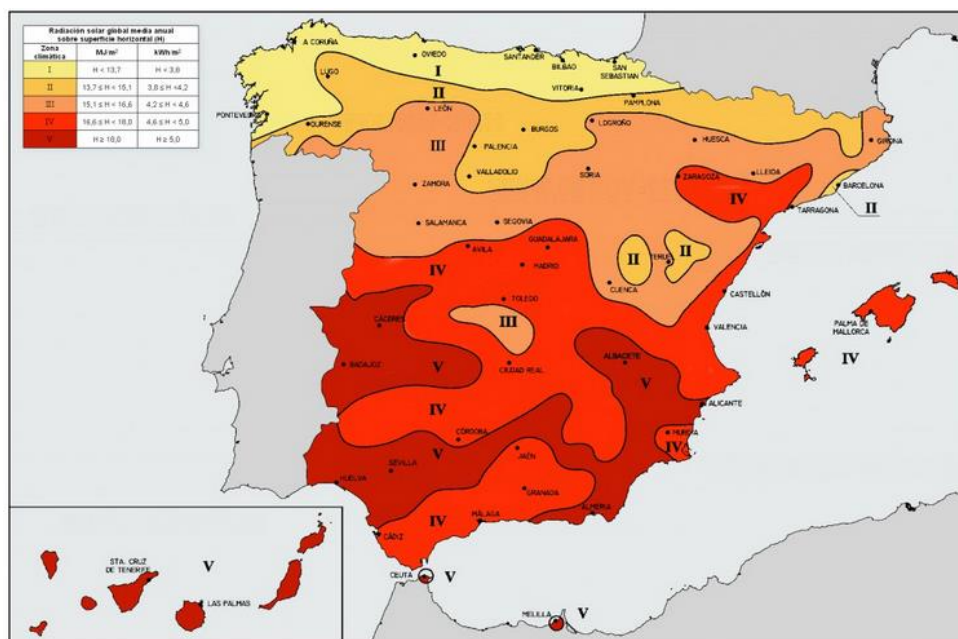


Ilustración 44. Mapa de las zonas de radiación en España.

En cada una de estas zonas la radiación media es diferente. Y se pueden comparar en la siguiente tabla:

Tabla 5. Radiación Solar media anual sobre una superficie horizontal

| Zona de radiación | MJ/m ² | kWh/m ² |
|-------------------|----------------------|--------------------|
| I | $H < 13,7$ | $H < 3,8$ |
| II | $13,7 \leq H < 15,1$ | $3,8 \leq H < 4,2$ |
| III | $15,1 \leq H < 16,6$ | $4,2 \leq H < 4,6$ |
| IV | $16,6 \leq H < 18$ | $4,6 \leq H < 5$ |
| V | $H \geq 18$ | $H \geq 5$ |

Como representación de cada una de estas zonas, hemos elegido las siguientes localidades:

Tabla 6. Localidades para el estudio de radiación, por zonas, con sus coordenadas.

| Zona de radiación | Localidad | Latitud | Longitud |
|-------------------|-----------|-----------|----------|
| I | Oviedo | 43,36237 | -5,84881 |
| II | Ourense | 42,33590 | -7,86392 |
| III | Girona | 41,98788 | 2,82136 |
| IV | Jaén | 37,825845 | -3,73315 |
| V | Albacete | 38,99426 | 1,85823 |

Se han utilizado las coordenadas de dichas ciudades, para ver concretamente la irradiancia de cada zona, para **todos los meses del año**.

Las coordenadas son lógicamente, aproximadas. Ya que no se ha localizado en concreto un solar o edificio donde establecer la instalación. Se han elegido estas ciudades, por la diferencia entre sus latitudes y longitudes, en un intento de estudiar globalmente la viabilidad de los sistemas fotovoltaicos en toda la España peninsular.

iHoga 2.2 permite introducir las coordenadas de un punto del planeta, y recopilar los datos de irradiación de esa zona, desde la web de la NASA (National Aeronautics and Space Agency):

https://eosweb.larc.nasa.gov/cgi-bin/sse/retscreen.cgi?email=rdulfo%40unizar.es&step=1&lat=37.83&lon=-3.73&submit=Submit

ATMOSPHERIC SCIENCE DATA CENTER

NASA Surface meteorology and Solar Energy: [RETScreen](#) Dat

Latitude **37.83** / Longitude **-3.73** was chosen.

| | Unit | Climate data location |
|-----------------------------|------|-----------------------|
| Latitude | °N | 37.83 |
| Longitude | °E | -3.73 |
| Elevation | m | 590 |
| Heating design temperature | °C | 1.35 |
| Cooling design temperature | °C | 31.04 |
| Earth temperature amplitude | °C | 23.31 |
| Frost days at site | day | 11 |

| Month | Air temperature | Relative humidity | Daily solar radiation - horizontal | Atmospheric pressure | Wind speed |
|-----------|-----------------|-------------------|---------------------------------------|-------------------------|------------|
| | °C | % | kWh/m ² /d | kPa | m/s |
| January | 6.4 | 72.1% | 2.50 | 95.3 | 3.4 |
| February | 8.1 | 64.6% | 3.38 | 95.2 | 3.6 |
| March | 11.4 | 54.6% | 4.57 | 95.0 | 3.6 |
| April | 14.2 | 47.1% | 5.45 | 94.7 | 3.6 |
| May | 18.4 | 42.6% | 6.32 | 94.8 | 3.5 |
| June | 23.8 | 34.8% | 7.33 | 94.9 | 3.4 |
| July | 26.7 | 31.8% | 7.61 | 94.9 | 3.5 |
| August | 26.1 | 36.4% | 6.55 | 94.9 | 3.4 |
| September | 21.9 | 48.2% | 5.07 | 95.0 | 3.1 |
| October | 16.7 | 58.9% | 3.52 | 95.0 | 3.1 |
| November | 11.3 | 67.5% | 2.54 | 95.0 | 3.2 |
| December | 7.8 | 73.3% | 2.10 | 95.3 | 3.4 |

Ilustración 45. Página web de la NASA con los valores de radiación solar por meses, para una de las localizaciones

Estos datos constituyen la base, para el estudio de qué sistema autónomo es el más indicado, ya que determina la disponibilidad de la principal fuente de energía del sistema.

4.3 CONDICIONES DE LAS SIMULACIONES

Con el fin de poder comparar los resultados, se fijaron unas condiciones iguales para todos los casos de estudio:

1. Esquema común

Todos los sistemas que vamos a estudiar, en todos los casos, están basados en el siguiente esquema:

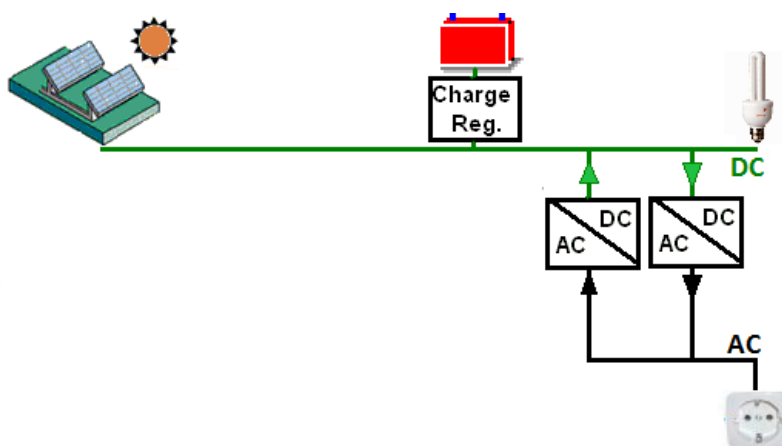


Ilustración 46. Esquema común del sistema autónomo fotovoltaico.

La fuente de energía son los paneles fotovoltaicos instalados en el sistema. Su número y modelo dependerá de la optimización a la que lleguemos. Sí podemos limitar el número de paneles en paralelo, antes de la simulación.

O **predimensionar** este valor, mediante la selección de días de autonomía (4 por defecto) y la potencia mínima del conjunto de modelos de paneles que vamos a incluir en la simulación.

Las baterías y el regulador de carga, son fundamentales para la autonomía del sistema. Podremos elegir entre varias familias de modelos, con diferentes características.

Lo mismo ocurre con el inversor (convertor de corriente eléctrica DC/AC), del que podremos elegir entre varios modelos, según su eficiencia.

2. Paneles Fotovoltaicos

Con el fin de estudiar el máximo número de paneles fotovoltaicos, se han añadido todas las familias disponibles en la aplicación, y que aparecen a continuación:

| Nombre | Tensión nominal | Intens. cortoc. | Potencia nominal | Coste de adquisición | Coste O&M unitario | Vida esperada | TONC | Coef. T ² | Emisiones CO2 fabricación y recic. |
|------------------------|-----------------|-----------------|------------------|----------------------|--------------------|---------------|------|----------------------|------------------------------------|
| | [V] | [A] | [Wp] | [€] | [€/año] | [años] | [€] | [%/°C] | [kgCO2 equiv./kWp] |
| ► SiM12-Atersa: A10J | 12 | 0,68 | 10 | 45 | 0,45 | 25 | 50 | -0,45 | 800 |
| SiM12-Atersa: A20J | 12 | 1,32 | 20 | 76 | 0,76 | 25 | 50 | -0,45 | 800 |
| SiP12-Atersa: A66P | 12 | 4,06 | 66 | 150 | 1,5 | 25 | 47 | -0,43 | 600 |
| SiP12-Atersa: A95P | 12 | 5,51 | 95 | 173 | 1,73 | 25 | 47 | -0,43 | 800 |
| SiP12-Atersa: A135P | 12 | 8,23 | 135 | 192 | 1,92 | 25 | 47 | -0,43 | 800 |
| SiP24-Atersa: A180P | 24 | 5,4 | 180 | 300 | 3 | 25 | 47 | -0,43 | 800 |
| SiP24-Atersa: A280P | 24 | 8,39 | 280 | 350 | 3,5 | 25 | 47 | -0,43 | 800 |
| SiM12-Isofoton: Is10 | 12 | 0,82 | 10 | 32 | 0,32 | 25 | 46 | -0,45 | 800 |
| SiM12-Isofoton: Is22 | 12 | 1,64 | 22 | 56 | 0,56 | 25 | 46 | -0,45 | 800 |
| SiM12-Isofoton: Is60 | 12 | 3,73 | 60 | 140 | 1,4 | 25 | 46 | -0,45 | 800 |
| SiM24-Isofoton: Is150 | 24 | 4,86 | 150 | 320 | 3,2 | 25 | 46 | -0,45 | 800 |
| SiP12-Suntech: STP-50 | 12 | 3,13 | 50 | 110 | 1,1 | 25 | 45 | -0,47 | 800 |
| SiP12-Suntech: ST-130 | 12 | 8,33 | 130 | 335 | 3,35 | 25 | 45 | -0,47 | 800 |
| SiP12-TAV: PV-135 | 12 | 8,73 | 135 | 247 | 2,47 | 25 | 45 | -0,47 | 800 |
| SiP24-Schott: Mono190 | 24 | 5,46 | 190 | 238 | 2,38 | 25 | 46 | -0,45 | 800 |
| aSi12-Schott: ASI100 | 12 | 6,79 | 100 | 110 | 1,1 | 25 | 49 | -0,2 | 800 |
| ► aSi12-Schott: ASI100 | 12 | 6,79 | 100 | 110 | 1,1 | 25 | 49 | -0,2 | 800 |

Ilustración 47. Tabla con los paneles fotovoltaicos incluidos en el estudio de optimización.

En el mismo menú de Módulos Fotovoltaicos/Generadores Fotovoltaicos, podemos ver la tabla de características de todos los modelos incluidos en la simulación. Como por ejemplo la intensidad y voltaje en los que funcionan, el cose medio y la esperanza de vida útil:

MÓDULOS FOTOVOLTAICOS / GENERADORES FOTOVOLTAICOS

Añadir Panel individual: Cero
Añadir Familia Paneles: SiP24-Schott

| Nombre | Tensión nominal | Intens. cortoc. | Potencia nominal | Coste de adquisición | Coste O&M unitario | Vida esperada | TONC | Coef. T ² | Emisiones CO2 fabricación y recic. |
|------------------------|-----------------|-----------------|------------------|----------------------|--------------------|---------------|------|----------------------|------------------------------------|
| | [V] | [A] | [Wp] | [€] | [€/año] | [años] | [€] | [%/°C] | [kgCO2 equiv./kWp] |
| ► aSi12-Schott: ASI100 | 12 | 6,79 | 100 | 110 | 1,1 | 25 | 49 | -0,2 | 800 |
| SiM12-Atersa: A10J | 12 | 0,68 | 10 | 45 | 0,45 | 25 | 50 | -0,45 | 800 |
| SiM12-Atersa: A20J | 12 | 1,32 | 20 | 76 | 0,76 | 25 | 50 | -0,45 | 800 |
| SiM12-Isofoton: Is10 | 12 | 0,82 | 10 | 32 | 0,32 | 25 | 46 | -0,45 | 800 |
| SiM12-Isofoton: Is22 | 12 | 1,64 | 22 | 56 | 0,56 | 25 | 46 | -0,45 | 800 |
| SiM12-Isofoton: Is60 | 12 | 3,73 | 60 | 140 | 1,4 | 25 | 46 | -0,45 | 800 |
| SiP12-Suntech: STP-50 | 12 | 3,13 | 50 | 110 | 1,1 | 25 | 45 | -0,47 | 800 |
| SiP12-Suntech: ST-130 | 12 | 8,33 | 130 | 335 | 3,35 | 25 | 45 | -0,47 | 800 |
| SiP12-TAV: PV-135 | 12 | 8,73 | 135 | 247 | 2,47 | 25 | 45 | -0,47 | 800 |
| aSi12-Schott: ASI100 | 12 | 6,79 | 100 | 110 | 1,1 | 25 | 49 | -0,2 | 800 |
| aSi12-Schott: ASI100 | 12 | 6,79 | 100 | 110 | 1,1 | 25 | 49 | -0,2 | 800 |

Coste Fijo de Operación y Mantenimiento: 40 €/año

Hay que aplicar un factor de seguridad que tenga en cuenta el sombreado, errores en la orientación, suciedad en paneles,...
El factor de seguridad suele ser del orden de 1.1 a 1.3 Factor de seguridad elegido: 1,2
☐ Los reguladores incluyen sistema de seguimiento de máxima potencia, Maximum Power Point Tracking (MPPT)

☐ El generador fotovoltaico está conectado al bus AC (a través de su propio inversor) Datos inversor fotovoltaico

Inflación anual esperada del precio de los Paneles, para calcular sus precios de reposición (cuando acaba su vida útil): -2 %
Límite de modificación de precios respecto a los actuales (acumulado, + si incrementan, - si decrecientan, p. ej., si creemos que los costes van a bajar hasta un 30% de los actuales, es decir, que se decrementarán 70%, ponemos -70%) -70 %
Se llega al límite en 59,6 años

ACEPTAR

Ilustración 48. Panel de selección de modelos y características de los paneles solares en la simulación.

Además permite elegir un factor de seguridad (debido a asombreamiento, suciedad, etc), que por defecto es de 1,2.

Podemos modificar los gastos de operación y mantenimiento de los paneles, y los valores de inflación y variación de precios, para calcular el periodo de amortización.

| | |
|---|--|
| Inflación anual esperada del precio de los Paneles, para calcular sus precios de reposición (cuando acaba su vida útil): <input style="width: 50px;" type="text" value="-2"/> % | Límite de modificación de precios respecto a los actuales (acumulado, + si incrementan, - si decremantan, p. ej., si creemos que los costes van a bajar hasta un 30% de los actuales, es decir, que se decrementarán 70%, ponemos -70%) <input style="width: 50px;" type="text" value="-70"/> % Se llega al límite en 59,6 años |
|---|--|

Ilustración 49. Valores medios de inflación y variación de precios para el estudio de amortización de los paneles fotovoltaicos

Hemos dejado los valores por defecto, ya que son valores estudiados por el desarrollador de la herramienta, para los últimos años en el sector.

Además es posible también, indicar al simulador si existe o no regulación MPPT (Maximum Power Point Tracking), de modo que se aproveche más la potencia solar disponible en cada momento (siempre que el regulador de carga disponga de un sistema seguidor de MPPT).

Para ello, en el menú de paneles, hemos seleccionado el seguimiento MPPT:

☒ Los reguladores incluyen sistema de seguimiento de máxima potencia, Maximum Power Point Tracking (MPPT)

☒ Calcular el número de paneles en serie según: $V_{bus_dc} / V_{max_p_panel}$ (sistemas conexión a red). Dato necesario: Relación $V_{max_p_panel} / V_{nominal_panel} =$
 (Solo se tendrá en cuenta esta opción si el regulador es MPPT)

☒ Considerar el efecto de la Temperatura

Datos de Temperatura Ambiente horas sol (°C)

☒ Medios mensuales
☐ Desde archivo 8760 valores horarios

E 8

F 12

M 18

A 20

M 25

J 30

J 32

A 30

S 28

O 20

N 12

D 8

Ilustración 50. Ajustes del seguimiento de potencia MPPT.

En los casos estudiados, está implementado MPPT, y el regulador es compatible.

El número de paneles necesario se calcula según la fórmula V_{busDC}/V_{n_panel} , donde V_{busDC} es la tensión nominal en DC (fijada por las baterías) y V_{n_panel} es la tensión nominal del panel (normalmente 12 o 24 V).

En sistemas MPPT o sistemas conectados a la red, normalmente el cálculo de los paneles en serie se realiza según $V_{busDC}/V_{max_p_panel}$, donde $V_{max_p_panel}$ es la tensión de máxima potencia del panel.

Para paneles de 12 V de tensión nominal, la tensión de máxima potencia es del orden de 17 o 18 V. Por ejemplo, si es 17,7 V, la relación será $17,7/12 = 1,475$.

Este valor se introduce como dato necesario en el cálculo de paneles. Se calculó como 1,475, siguiendo la relación de más arriba.

En todos los ejemplos estudiados, se ha utilizado dicho cálculo para el número máximo de paneles, así como la dependencia de la potencia máxima con la temperatura media mensual (datos recopilados de AEMET, para 2013) que se ha caracterizado para cada ejemplo, ya que son diferentes en cada zona estudiada.

3. Inclinación y seguimiento de los paneles

La inclinación de los paneles que se ha elegido es la óptima:

- Azimut de 0° con respecto al sur.
- Inclinación óptima, calculada a partir de la radiación media, y el consumo medio en la zona estudiada.

Latitud (°) (+N, -S):
 Inclinación paneles (°):
 Azimut paneles (° respecto al sur):
 Reflectividad suelo:

Longitud (°) (+E, -O):

☒ Optimizar inclinación paneles simultáneamente con la optimización del sistema

Ilustración 51. Parámetros de radiación sobre los paneles fotovoltaicos, en los casos de estudio.

En todos los casos, la inclinación óptima a priori ha sido entre 45 y 60°:

| Irradiación diaria media para cada mes del año y para el año entero. Inclinaciones 0, 15, 30, 45, 60, 75, 90° y óptima | | | | | | | | | |
|--|-------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|---------------|--------------------------|
| El azimut seleccionado (0°) es el óptimo para latitudes norte | | | | | | | | | |
| | Rad. 0° (kWh/día) | Rad. 15° (kWh/día) | Rad. 30° (kWh/día) | Rad. 45° (kWh/día) | Rad. 60° (kWh/día) | Rad. 75° (kWh/día) | Rad. 90° (kWh/día) | Inc. Opt. (°) | Rad. Inc. Opt. (kWh/día) |
| Enero | 1,8 | 2,09 | 2,28 | 2,37 | 2,35 | 2,21 | 1,98 | 49 | 2,37 |
| Febrero | 2,62 | 3 | 3,23 | 3,31 | 3,23 | 3 | 2,63 | 45 | 3,31 |
| Marzo | 4,11 | 4,59 | 4,83 | 4,82 | 4,56 | 4,07 | 3,39 | 37 | 4,85 |
| Abril | 5,41 | 5,71 | 5,72 | 5,43 | 4,86 | 4,06 | 3,1 | 23 | 5,76 |
| Mayo | 6,23 | 6,25 | 5,99 | 5,43 | 4,6 | 3,62 | 2,52 | 9 | 6,28 |
| Junio | 7,23 | 7,09 | 6,62 | 5,83 | 4,76 | 3,54 | 2,27 | 2 | 7,24 |
| Julio | 7,36 | 7,3 | 6,89 | 6,12 | 5,04 | 3,79 | 2,46 | 5 | 7,39 |
| Agosto | 6,3 | 6,55 | 6,47 | 6,02 | 5,25 | 4,23 | 3,03 | 19 | 6,57 |
| Septiembre | 5,23 | 5,85 | 6,14 | 6,07 | 5,67 | 4,95 | 3,96 | 35 | 6,15 |
| Octubre | 3,61 | 4,29 | 4,76 | 4,96 | 4,89 | 4,54 | 3,95 | 49 | 4,97 |
| Noviembre | 2,23 | 2,67 | 2,99 | 3,16 | 3,16 | 3,01 | 2,7 | 53 | 3,18 |
| Diciembre | 1,5 | 1,74 | 1,9 | 1,97 | 1,96 | 1,86 | 1,67 | 50 | 1,98 |
| AÑO COMPLETO | 4,48 | 4,77 | 4,82 | 4,63 | 4,2 | 3,57 | 2,8 | 26 | 4,83 |

El mes de menor irradiación sobre superficie horizontal es DICIEMBRE

La inclinación óptima para maximizar la irradiación en DICIEMBRE (paneles fotovoltaicos fijos) es 50 °

La inclinación óptima teniendo en cuenta la relación consumo/irradiación sobre superficie inclinada (paneles fotovoltaicos fijos) es 50 °

El mes de peor relación consumo/irradiación para esa inclinación óptima de 50° es DICIEMBRE con consumo equiv. DC de 4,4 kWh y radiación sobre superf. incl. 50° de 1,98 kWh/m2/día

Ilustración 52. Tabla de optimización de la inclinación de los paneles, según el patron anual de irradiación y consumo

No se ha provisto a los paneles de seguimiento solar, con el fin de minimizar costes.

4. Sombreado

Para cada caso de estudio, con finalidad de simplificar los cálculos y obtener un caso lo más genérico posible, suponemos que **no hay obstáculos que ensombrezcan los paneles**.

En estudios posteriores, podemos añadir obstáculos con referencia al azimut de los paneles, como muestra el siguiente gráfico:

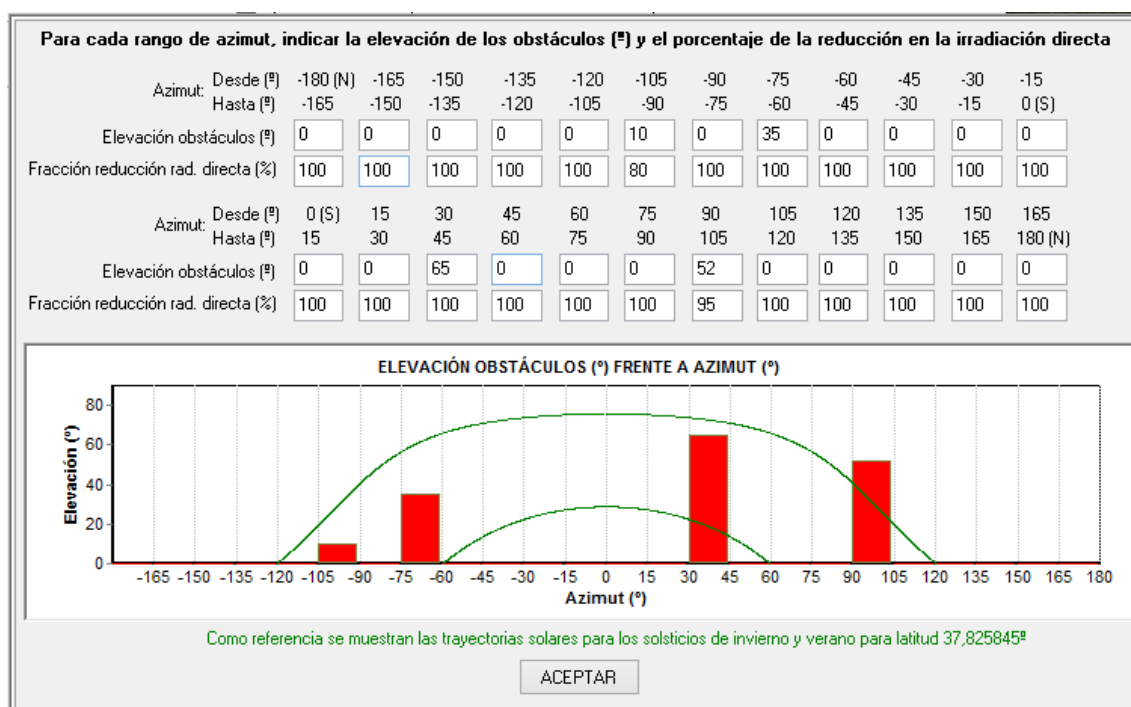


Ilustración 53. Sombreado de los paneles fotovoltaicos, con obstáculos en altura y porcentaje de pérdida de radiación directa, según el rango de azimut.

5. Irradiación

Utilizamos los valores de irradiación media diaria, calculados con el método **Collares-Pereira y Rabl**, a partir de los datos de irradiación mensual, facilitados por la página web de la NASA.

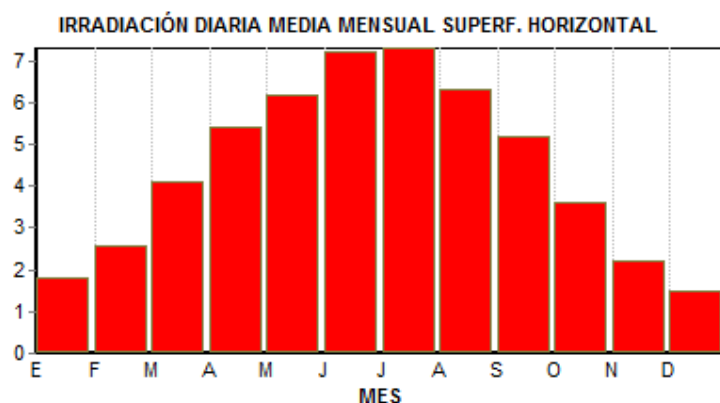


Ilustración 54. Irradiación media mensual en superficie horizontal, para el caso de estudio.

Para ver el efecto de la inclinación sobre la irradiación, podemos variar los valores del ángulo de inclinación, y ver las gráficas de potencia incidente (WH/m²) diaria y anual:

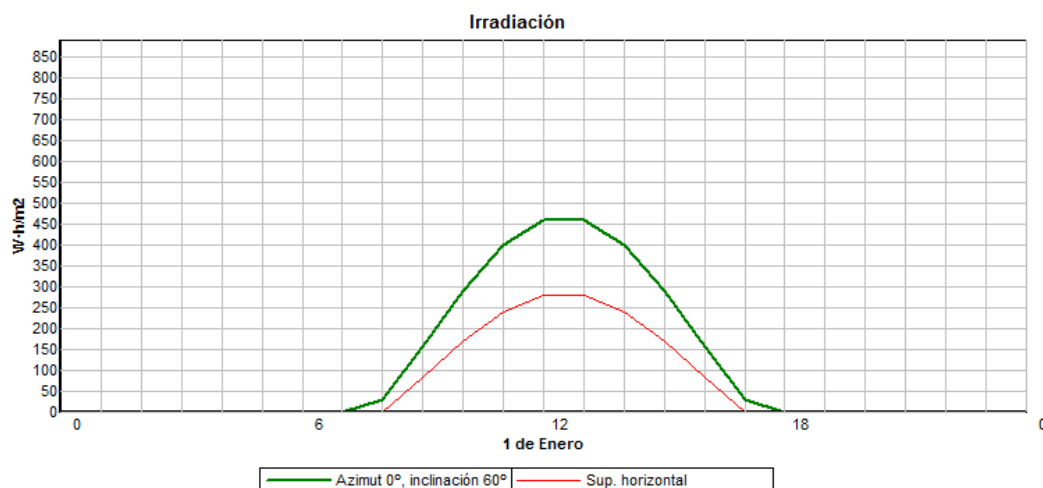


Ilustración 55. Comparativa de la radiación sobre el panel en modo horizontal o inclinado, para un día.

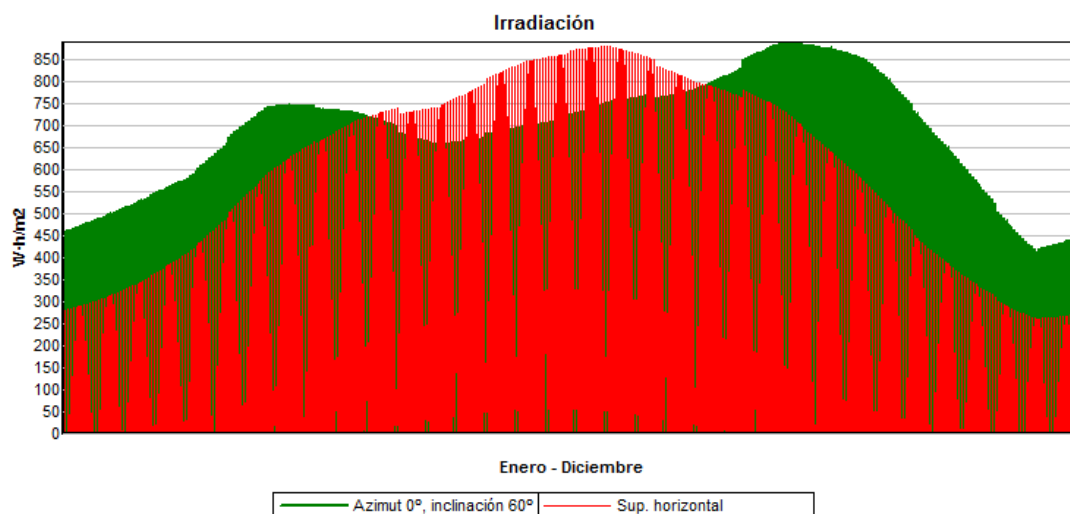
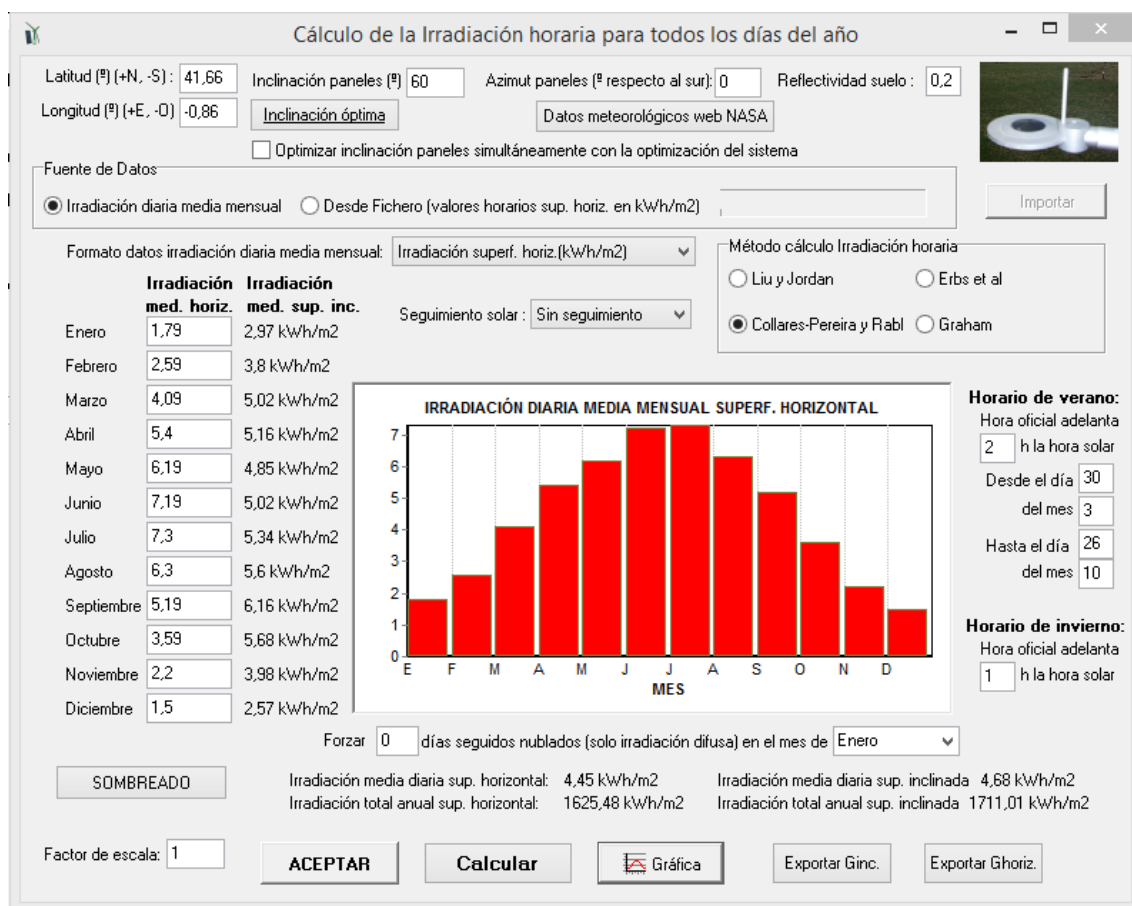


Ilustración 56. Comparativa de la radiación horizontal y sobre plano inclinado, anual

Como podemos ver, el aumentar la inclinación de los paneles, hace que los valores de energía obtenidos, sean, en media, mayores.

La reflectividad del suelo, queda marcada en 0,2, que es su valor por defecto.

Todos estos parámetros se pueden definir en el panel de cálculo de recursos por irradiación.



Cálculo de la Irradiación horaria para todos los días del año

Latitud (°) (+N, -S): 41.66 Inclinación paneles (°): 60 Azimut paneles (° respecto al sur): 0 Reflectividad suelo: 0.2
 Longitud (°) (+E, -O): -0.86 **Inclinación óptima** Datos meteorológicos web NASA

☐ Optimizar inclinación paneles simultáneamente con la optimización del sistema

Fuente de Datos:
☒ Irradiación diaria media mensual ☐ Desde Fichero (valores horarios sup. horiz. en kWh/m2)

Formato datos irradiación diaria media mensual: Irradiación superf. horiz. (kWh/m2)

Método cálculo Irradiación horaria:
☐ Liu y Jordan ☐ Erbs et al
☒ Collares-Pereira y Rabl ☐ Graham

Seguimiento solar: Sin seguimiento

| | Irradiación med. horiz. | Irradiación med. sup. inc. |
|------------|-------------------------|----------------------------|
| Enero | 1,79 | 2,97 kWh/m2 |
| Febrero | 2,59 | 3,8 kWh/m2 |
| Marzo | 4,09 | 5,02 kWh/m2 |
| Abril | 5,4 | 5,16 kWh/m2 |
| Mayo | 6,19 | 4,85 kWh/m2 |
| Junio | 7,19 | 5,02 kWh/m2 |
| Julio | 7,3 | 5,34 kWh/m2 |
| Agosto | 6,3 | 5,6 kWh/m2 |
| Septiembre | 5,19 | 6,16 kWh/m2 |
| Octubre | 3,59 | 5,68 kWh/m2 |
| Noviembre | 2,2 | 3,98 kWh/m2 |
| Diciembre | 1,5 | 2,57 kWh/m2 |

IRRADIACIÓN DIARIA MEDIA MENSUAL SUPERF. HORIZONTAL

Horario de verano:
 Hora oficial adelanta 2 h la hora solar
 Desde el día 30 del mes 3
 Hasta el día 26 del mes 10

Horario de invierno:
 Hora oficial adelanta 1 h la hora solar

Forzar 0 días seguidos nublados (solo irradiación difusa) en el mes de Enero

SOMBREADO

Irradiación media diaria sup. horizontal: 4,45 kWh/m2 Irradiación media diaria sup. inclinada: 4,68 kWh/m2
 Irradiación total anual sup. horizontal: 1625,48 kWh/m2 Irradiación total anual sup. inclinada: 1711,01 kWh/m2

Factor de escala: 1

ACEPTAR Calcular Gráfica Exportar Ginc. Exportar Ghoriz.

Ilustración 57. Menú de cálculo de recursos por irradiación.

Como en estos casos, no hay a priori, no hay problemas por la inclinación de los paneles, se ha utilizado el ángulo óptimo para cada caso.

Esos valores se pueden ver en la siguiente tabla:

Tabla 7. Ángulo de inclinación óptimo para cada caso de estudio

| Localidad/Zona | Ángulo de inclinación óptimo |
|----------------|------------------------------|
| Oviedo | 70° |
| Ourense | 60° |
| Girona | 60° |
| Jaén | 60° |
| Albacete | 55° |

6. Modelo de radiación diaria

El método elegido para estimar la radiación horaria, a partir de los datos mensuales, es el establecido por el **modelo Collares-Pereira y Rabl**.

Otros modelos de irradiación aportados por la herramienta son:

- Liu y Jordan, (1960),
- Graham (1990), que incluye además variabilidad estadística
- Erbs et al (1982)

El modelo Collares-Pereira y Rabl, desarrolla correlaciones analíticas en función de la longitud del día y la hora. Así se obtiene la razón entre la irradiación global horaria y la irradiación global diaria, tanto directa como difusa:

$$r_t = \pi/24 \frac{(a + b)(\cos \omega - \cos w_s)}{\text{sen } w_s - \left(\frac{\pi w_s}{180}\right) \cos w_s}$$

Ecuación 3. Razón entre irradiación directa global horaria y diaria

$$r_d = \pi/24 \frac{(\cos \omega - \cos w_s)}{\text{sen } w_s - \left(\frac{\pi w_s}{180}\right) \cos w_s}$$

Ecuación 3. Razón entre irradiación directa global horaria y diaria

Los coeficientes a y b tienen un valor dependiente también del ángulo de incidencia de los rayos solares (w) con respecto al ángulo horario al alba (w_s):

$$\omega_s = \cos^{-1}(-\tan \varphi \tan \delta)$$

$$a = 0.0409 + 0.5016 \text{ sen } (\omega_s - 60)$$

$$b = 0.660 - 0.4767 \text{ sen } (\omega_s - 60)$$

donde φ es la latitud del lugar y δ es la declinación según la fórmula de Spencer, para cada día del año.

7. Baterías

Podemos elegir entre varias familias de modelos de baterías.

En nuestro caso vamos a seleccionar dos: OPZS-Hawker y Rolls12V.

BATERÍAS / BANCOS DE BATERÍAS

Añadir Batería individual: Cero
 Añadir Familia Baterías: OPZS-Hawker

| C.nom. | Vn | Coste Adquis. | C. O&M | SOC | Coef. Autod. | Efic. glob. | Vida flot. | Ciclos de Vida en función de la Profundidad de Descarga | | | | | | | | | |
|--------------------|------|---------------|--------|---------|--------------|-------------|------------|---|-----|-------|------|------|------|------|------|------|------|
| Nombre | (Ah) | (V) | (€) | (€/año) | (%) | (%) | (años) | 10% | 20% | 30% | 40% | 50% | 60% | 70% | 80% | 90% | |
| OPZS-Hawker.TVS-7 | 550 | 2 | 202 | 2,02 | 20 | 3 | 110 | 85 | 18 | 12000 | 6500 | 4250 | 3100 | 2500 | 2050 | 1800 | 1500 |
| OPZS-Hawker.TVS-7 | 816 | 2 | 298 | 2,98 | 20 | 3 | 163,2 | 85 | 18 | 12000 | 6500 | 4250 | 3100 | 2500 | 2050 | 1800 | 1500 |
| OPZS-Hawker.TVS-12 | 1340 | 2 | 412 | 4,12 | 20 | 3 | 268 | 85 | 18 | 12000 | 6500 | 4250 | 3100 | 2500 | 2050 | 1800 | 1500 |
| OPZS-Hawker.TZS-13 | 1940 | 2 | 578 | 5,78 | 20 | 3 | 388 | 85 | 18 | 12000 | 6500 | 4250 | 3100 | 2500 | 2050 | 1800 | 1500 |
| OPZS-Hawker.TZS-16 | 2240 | 2 | 664 | 6,64 | 20 | 3 | 448 | 85 | 18 | 12000 | 6500 | 4250 | 3100 | 2500 | 2050 | 1800 | 1500 |
| OPZS-Hawker.TZS-20 | 2800 | 2 | 800 | 8 | 20 | 3 | 560 | 85 | 18 | 12000 | 6500 | 4250 | 3100 | 2500 | 2050 | 1800 | 1500 |
| OPZS-Hawker.TZS-22 | 3090 | 2 | 908 | 9,08 | 20 | 3 | 618 | 85 | 18 | 12000 | 6500 | 4250 | 3100 | 2500 | 2050 | 1800 | 1500 |
| OPZS-Hawker.TZS-24 | 3360 | 2 | 1010 | 10,1 | 20 | 3 | 672 | 85 | 18 | 12000 | 6500 | 4250 | 3100 | 2500 | 2050 | 1800 | 1500 |

Coste fijo Operación y Mantenimiento: 50 €/año
 Emisiones CO2 equiv. (en fabricación): 55 kg CO2 equiv / kWh capacidad
 SOC inicio simulación: 100 % de SOCmax

Modelo de Baterías:
☒ Ah (Schuhmacher 1993)
☐ KiBaM (Marwell-McGowan 1993)
☐ Copetti 1994
☐ Schiffer 2007

Temp. E 18 F 18 M 20 A 20 M 20 J 22 Media (°C)
 Bat. (°C) J 22 A 22 S 22 O 20 N 18 D 18 20

☒ En modelos distintos a Schiffer, considerar Tmedia > T vida flot

Cálculo vida baterías según:
☒ Rainflow (conteo de ciclos) ☐ Modificado
☐ Ciclos equivalentes

ACEPTAR

OPZS-Hawker: TZS-24 de 3360 Ah

Numero de ciclos equivalentes 1254,3

Inflación anual esperada del precio de las Baterías, para calcular sus precios de reposición (cuando acaba su vida útil): -2 %
 Límite de modificación de precios respecto a los actuales (acumulado, + si incrementan, - si decrecen, p. ej., si creemos que los costes van a bajar hasta un 60% de los actuales, es decir, que se decrementarán 40%, indicamos -60%) -60 %

Se llega al límite en 45,4 años




Ilustración 58. Menú de selección de Baterías.

Para cada modelo, podemos ver las gráficas de ciclos de vida, y energía aportada, con respecto a la profundidad de la descarga (mientras más elevada, menor será la vida de la batería):

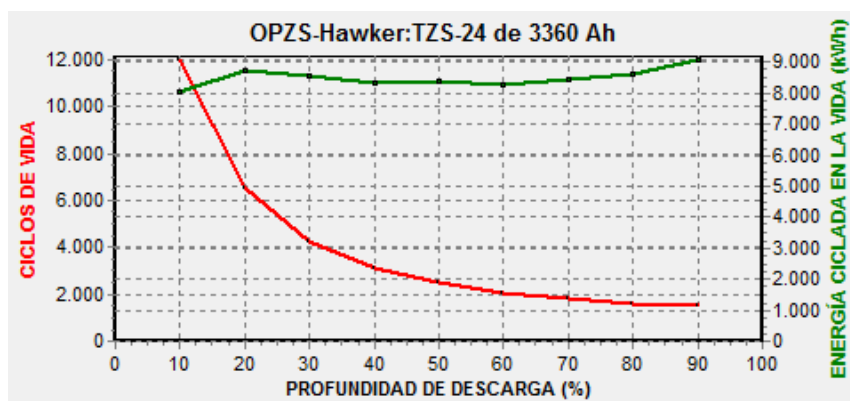


Ilustración 59. Ciclos de vida y Energía, con respecto a la profundidad de carga de un modelo de batería.

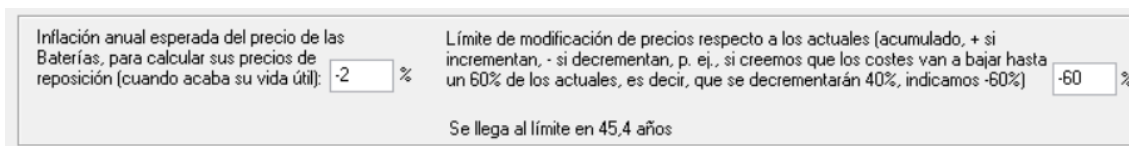
Además, podemos calcular el estado de carga de las baterías, así como la intensidad máxima admisible por ellas, según varios modelos de simulación:

- Ah (Schumahcher 1993).
- KiBaM (Manwell y McGowan, 1993).
- Copetti (1994)
- Schiffer (2007)

Estos modelos, unido a las temperaturas medias, y al número de ciclos de carga, nos dará la vida útil de la batería, en **número de ciclos equivalentes**.

En este estudio, se ha elegido el **modelo Ah**.

Como el caso de los paneles, podemos modificar los valores de inflación y variación de precios, para calcular la amortización. Y los costes de emisión de CO₂.

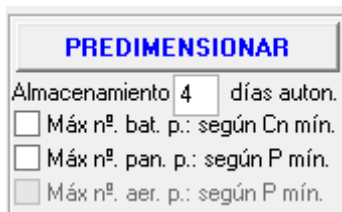


The screenshot shows a software window with two input fields for percentages. The first field is labeled 'Inflación anual esperada del precio de las Baterías, para calcular sus precios de reposición (cuando acaba su vida útil):' and contains the value '-2'. The second field is labeled 'Límite de modificación de precios respecto a los actuales (acumulado, + si incrementan, - si decrementan, p. ej., si creemos que los costes van a bajar hasta un 60% de los actuales, es decir, que se decrementarán 40%, indicamos -60%)' and contains the value '-60'. Below these fields, a text label states 'Se llega al límite en 45,4 años'.

Ilustración 60. Inflación media y variación de los precios de las baterías.

8. **Predimensionado**

Se ha elegido para el dimensionamiento del sistema, un mínimo de 4 días de autonomía, con la restricción del número máximo de paneles en paralelo, de acuerdo la potencia de los paneles, y la carga de las baterías.



The screenshot shows a software window titled 'PREDIMENSIONAR'. It contains a label 'Almacenamiento' followed by a text input field with the value '4' and the unit 'días auton.'. Below this, there are three checkboxes with corresponding labels: 'Máx nº. bat. p.: según Cn mín.', 'Máx nº. pan. p.: según P mín.', and 'Máx nº. aer. p.: según P mín.'.

Ilustración 61. Opciones de predimensionado.

Con estos parámetros la herramienta iHOGA 2.2, y las recomendaciones de potencia que se muestran en la siguiente ilustración, puede predimensionar el número de paneles fotovoltaicos necesarios.

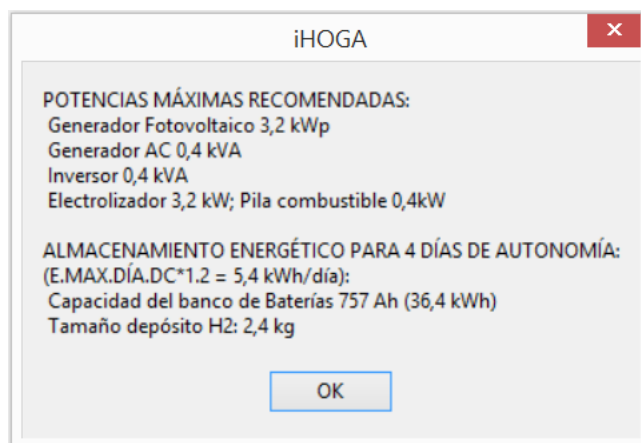


Ilustración 62. Potencias máximas recomendadas para predimensionar el proyecto

Este cálculo sólo se puede realizar después de haber introducido los datos sobre consumo e irradiación, así como los datos sobre paneles fotovoltaicos.

9. Regulador

Para los reguladores de carga de energía, podemos incluir en la simulación familias de modelos que cumplan el VDC de la instalación y el MPPT de la regulación de potencia.

La familia elegida para la elección de regulador de carga es **Morningstar**, ya que ofrece varios modelos que concuerdan con las demandas de carga, potencia y seguimiento MPPT:

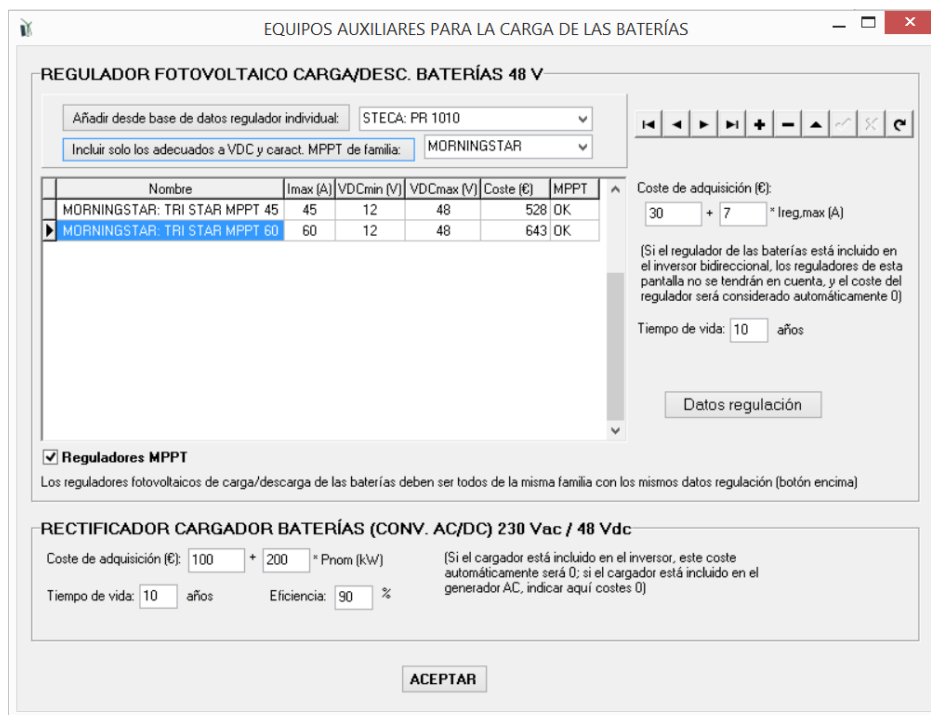


Ilustración 63. Menú del Regulador de Carga de las baterías.

Así mismo, se puede modificar otros valores económicos, como el coste de adquisición y el tiempo de vida del regulador. Para el estudio se han dejado los valores económicos por defecto.

Por último, podemos verificar los valores de eficiencia (90%) y de vida útil (10 años), que han permanecido en los valores por defecto.

10. Inversor

Podemos seleccionar una familia de inversores, incluyendo en el análisis sólo los adecuados al VDC de la instalación del sistema, y a los valores del regulador en potencia, MPPT:

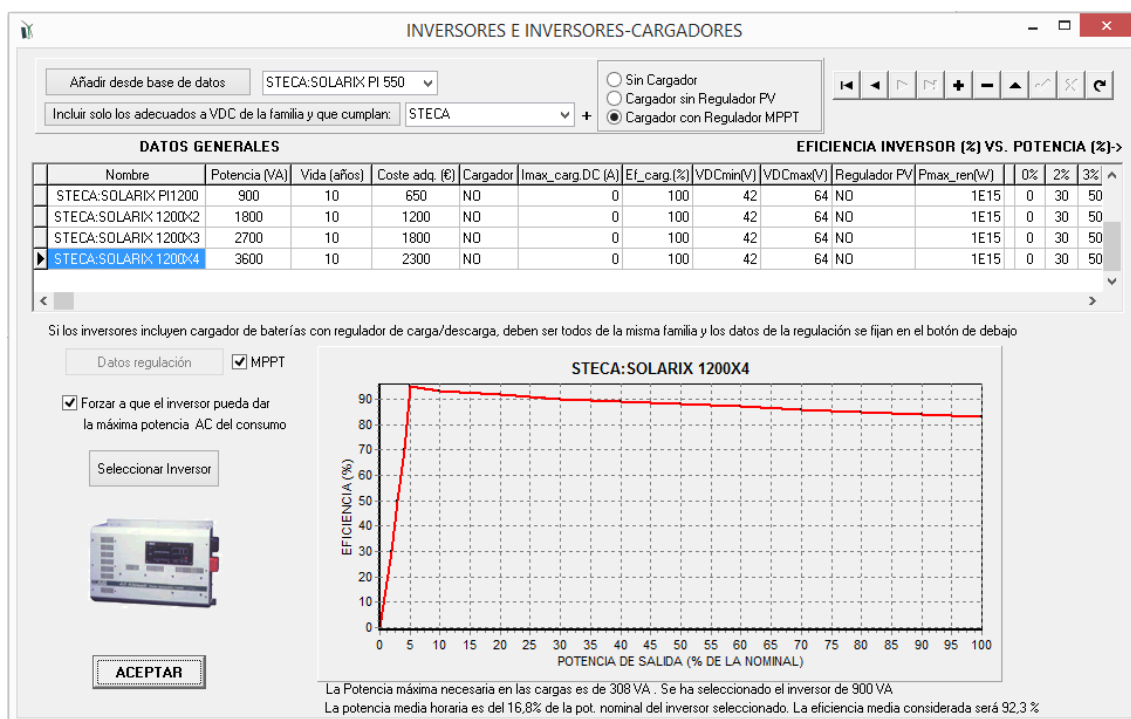


Ilustración 64. Menú de selección de inversor.

En este proyecto, hemos incluido la familia XANTREX, ya que son los únicos que cumplen las condiciones impuestas de potencia y seguimiento MPPT.

| DATOS GENERALES | | | | | | | | | | | EFICIENCIA INVERSOR (%) VS. POTENCIA (%)> | | | |
|---------------------|---------------|-------------|----------------|----------|------------------|-------------|-----------|-----------|--------------|-------------|---|----|----|--|
| Nombre | Potencia (VA) | Vida (años) | Coste adq. (€) | Cargador | Imax_carg.DC (A) | Ef_carg (%) | VDCmin(V) | VDCmax(V) | Regulador PV | Pmax_ren(W) | 0% | 2% | 3% | |
| XANTREX: 2 x Xw6048 | 12000 | 10 | 6400 | OK | 262 | 98 | 44 | 64 | MPPT | 1E15 | 0 | 30 | 50 | |
| XANTREX: 3 x Xw6048 | 18000 | 10 | 9600 | OK | 393 | 98 | 44 | 64 | MPPT | 1E15 | 0 | 30 | 50 | |
| XANTREX: Xw4548-230 | 4000 | 10 | 2400 | OK | 96 | 98 | 44 | 64 | MPPT | 1E15 | 0 | 30 | 50 | |
| XANTREX: 2 x Xw4548 | 8000 | 10 | 4800 | OK | 192 | 98 | 44 | 64 | MPPT | 1E15 | 0 | 30 | 50 | |
| XANTREX: 3 x Xw4548 | 12000 | 10 | 7200 | OK | 288 | 98 | 44 | 64 | MPPT | 1E15 | 0 | 30 | 50 | |

Ilustración 65. Datos generales de los inversores adecuados a este proyecto

Podemos observar la curva de eficiencia de los diferentes modelos, para diferentes potencias de entrada:

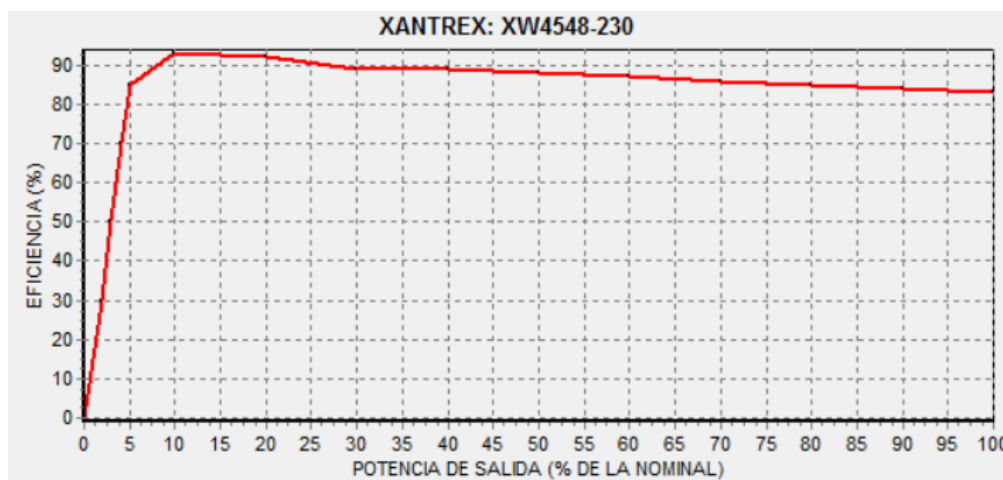


Ilustración 66. Curva de eficiencia para potencia de salida proporcionada por el inversor.

Por defecto está marcada la opción de “Forzar a que el inversor pueda dar la máxima potencia AC de consumo”. Esto implica que queremos el inversor de mínima potencia tal que pueda dar la máxima potencia exigida por las cargas AC. Este caso es el más común, ya que si el inversor no pudiese dar toda la potencia AC demandada por las cargas, el consumo AC se quedaría sin cubrir de forma autónoma, y habría que consumir de la red pública.

Una vez seleccionados las condiciones de potencia y consumo, podemos ver qué valores debe cumplir:

La Potencia máxima necesaria en las cargas es de 308 VA. Se ha seleccionado el inversor de 4000 VA.
La potencia media horaria es del 3,7% de la pot. nominal del inversor seleccionado. La eficiencia media considerada será 82,9 %

Ilustración 67. Características del inversor según las condiciones de potencia del sistema.

En nuestro caso, la regulación de Inversor, incluye las características de regulador de la carga de las baterías, en caso de que no pueda realizarse a través de las fuentes de energía propias, y haya que consumir electricidad proveniente de la red.

11. Perfiles de Consumo

Para estudiar los distintos tipos de consumo que puede presentar nuestra instalación, se han estudiado por separado, 3 perfiles distintos de consumo.

Siempre estarán limitados a 10kWh/día, ya que la herramienta está limitada a ese valor en nuestra versión, que es además, el valor frontera entre una instalación de autoconsumo y una central fotovoltaica.

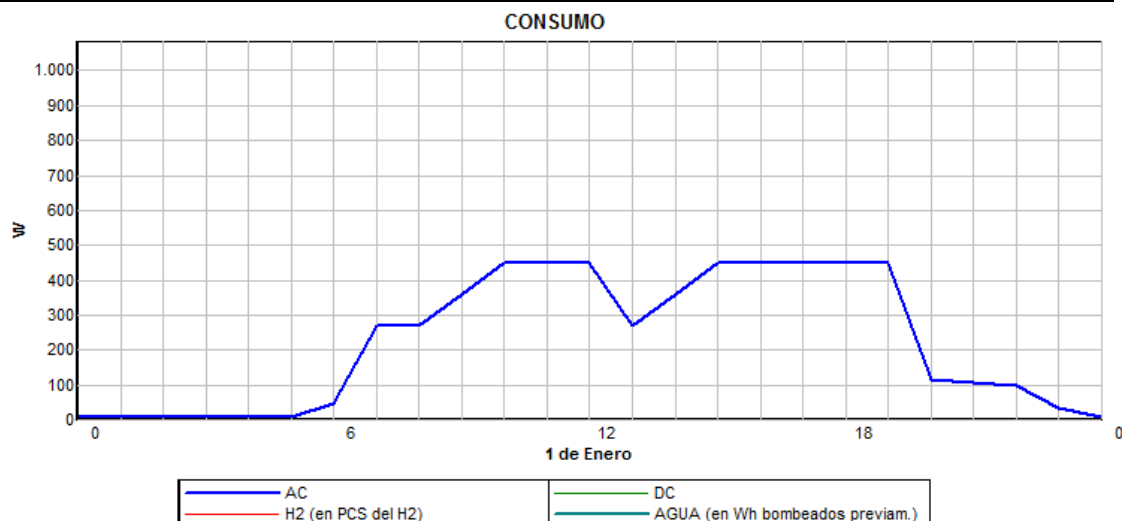


Ilustración 68. El consumo diario está limitado a 10kWh

Los perfiles disponibles son:

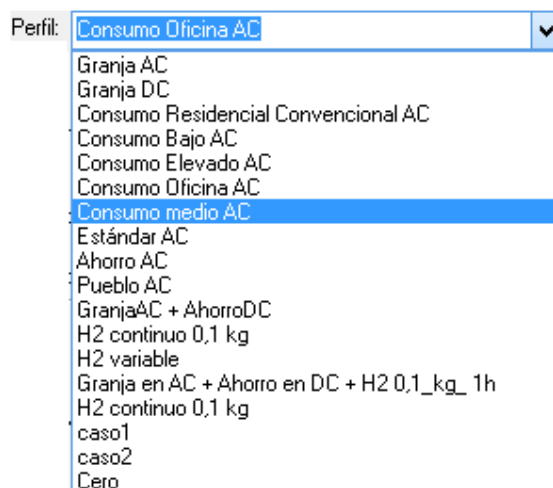


Ilustración 69. Perfiles de consumo disponibles en iHoga 2.2

También podremos añadir perfiles nuevos, a partir de ficheros con los datos de consumo diario medio, por hora y mes.

Entre los perfiles que tiene la herramienta, se eligieron 3 distintos, de modo que podamos comparar en entornos muy diferentes la viabilidad de nuestro sistema autónomo.

Estos son:

- **Centro Residencial Convencional AC**
- **Consumo Oficina AC**
- **Consumo elevado AC**

La mayoría de perfiles están referidos a entornos AC, que son los más usuales. Se diferencian por la finalidad del consumo, y por tanto, por la distribución mensual y horaria del gasto de electricidad.

Podemos ajustar más el perfil, añadiendo factores de escala para los días laborables y los días de fin de semana.

| | | | |
|--|--------------------------------|---|----------------------------------|
| Factor de escala para Lunes - Viernes: | <input type="text" value="1"/> | Factor de escala para el fin de semana: | <input type="text" value="0.5"/> |
|--|--------------------------------|---|----------------------------------|

Ilustración 70. Factor de escala del consumo diario.

En este proyecto se han ajustado según el modelo de consumo.

Por ejemplo, para el caso de Oficina AC, se ha bajado al 50% para los fines de semana, y en Centro Residencial Convencional, se ha subido un 50% más para el fin de semana.

Además, podemos introducir variabilidad por día u horaria, para obtener un perfil más realista.

| Aleatoriedad del Consumo | | | |
|--------------------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|
| | AC | DC | H2 |
| Variabilidad diaria | <input type="text" value="5"/> % | <input type="text" value="0"/> % | <input type="text" value="0"/> % |
| Variabilidad horaria | <input type="text" value="0"/> % | <input type="text" value="0"/> % | <input type="text" value="0"/> % |

Ilustración 71. Panel de aleatoriedad del consumo, diario y horario.

Para el consumo de nuestra instalación, tenemos que tener en cuenta la compra venta de electricidad a la red pública.

Como hemos visto, no está aprobada la venta de energía para instalaciones de menos de 100kWh. En los cálculos se ha estimado un precio de venta semejante al de otros países, para estudiar si realmente es viable el autoconsumo con la venta de energía a la red, como ocurre en una mayoría de países.

Esto lo reflejamos en el panel de compra/venta de electricidad de la herramienta:

| CARGAS AC (W) | CARGAS DC (W) | CONSUMO H2 (kg) | CONSUMO AGUA DE DEPÓSITO (PREVIA. BOMBEADA) | COMPRA / VENTA E |
|---|---------------|-----------------|---|------------------|
| <div> <input type="checkbox"/> Comprar a red AC la E No Servida por el sistema autónomo </div> <div> <input checked="" type="checkbox"/> Precio coste E fijo (€/kWh): <input type="text" value="0.15"/> Precio horario </div> <div> Inflación anual (%): <input type="text" value="3"/> Emisión (kgCO₂/kWh): <input type="text" value="0.4"/> </div> <div> Pmax (kW): <input type="text" value="1000"/> Coste término Potencia (€/año): <input type="text" value="0"/> </div> <div> Precio Peaje Acceso (€/kWh): <input type="text" value="0.1"/> Precio horario </div> <div> <input checked="" type="checkbox"/> Precio p. respaldo fijo (€/kWh): <input type="text" value="0"/> Precio horario </div> <div> (Este coste del peaje de Respaldo se sumará al de la E comprada) </div> <div> Impuestos totales sobre costes electricidad (%): <input type="text" value="0"/> </div> | | | | |
| <div> <input type="checkbox"/> Vender E sobrante (en exceso) a la red AC. </div> <div> <input checked="" type="checkbox"/> Precio venta E fijo (€/kWh): <input type="text" value="0.12"/> Precio horario </div> <div> <input type="checkbox"/> Pr. venta = pr. compra x <input type="text" value="1"/> </div> <div> Inflación anual (%): <input type="text" value="3"/> </div> <div> Potencia máxima (kW): <input type="text" value="1000"/> </div> <div> Precio Peaje Generación (Cesión E a la Red) (€/kWh): <input type="text" value="0"/> </div> <div> <input checked="" type="checkbox"/> Precio p. cesión fijo (€/kWh): <input type="text" value="0"/> Precio horario </div> <div> Autoconsumo y Balance Neto: </div> <div> Sin Balance Neto </div> <div> Coste servicio balance neto (€/kWh): <input type="text" value="0"/> </div> <div> Pr. venta E excedente fin ciclo (Buy-back) (€/kWh): <input type="text" value="0"/> </div> <div> Impuestos totales sobre ingresos venta electricidad (%): <input type="text" value="0"/> </div> | | | | |
| <div> <input type="checkbox"/> Vender H2 sobrante en tanque (se vende la diferencia entre el H2 en el tanque al final del año y al principio) </div> <div> Precio (€/kg): <input type="text" value="10"/> Inflación anual (%): <input type="text" value="3"/> </div> <div> Datos para comparar con la alimentación solo mediante RED convencional AC: </div> <div> Coste total instalación RED AC: <input type="text" value="3000"/> € </div> <div> Coste mantenimiento anual: <input type="text" value="100"/> € </div> | | | | |

Ilustración 72. Panel de compra venta de electricidad

NOTA: La compra a la red AC de Energía no servida, está limitado globalmente al 1% en todos los casos estudiados. De tal modo, que aunque haya que poner más elementos, el precio del Kwh, sea el menor.

La compra/venta lleva asociados varios parámetros económicos, que vamos a fijar para todos los casos, sin distinguir las peculiaridades locales que pudiera haber, dependiendo de quién sea el operador de electricidad al que nos conectemos.

Estos valores, están fijados así:

- Precio coste E fijo: 0,1391€/Kwh en 2014
- Inflación anual del 1,4% en 2014 para la electricidad, según el IPC
- Precio peaje acceso fijo: 0,15 €/kWh para 2014 (precio medio)
- Precio peaje respaldo fijo: 0,03 €/kWh para 2014
- Precio venta E fijo: 0,12
- Precio peaje cesión fijo: 0,01 €/KWh
- Impuestos totales sobre el coste de la electricidad y la venta de electricidad: 21% IVA.

Los demás valores, como el coste de mantenimiento, quedan en los valores por defecto.

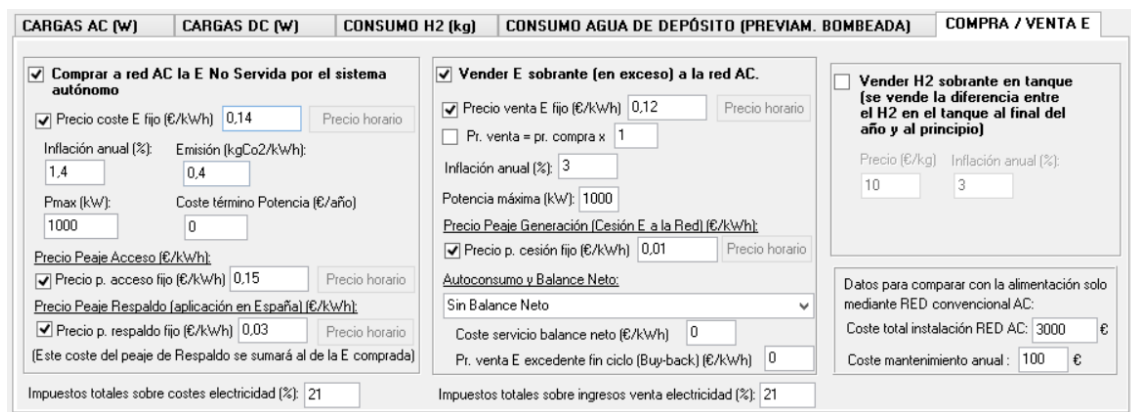


Ilustración 73. Ajuste económico de la compra-venta de electricidad en este estudio.

No vamos a implementar Balance Neto, debido a que no está recogido en las leyes actuales.

12. Tipo de optimización

Se ha seguido un método de optimización basado en buscar el sistema autónomo óptimo para cada zona, con un coste y emisión de CO2 mínimos.

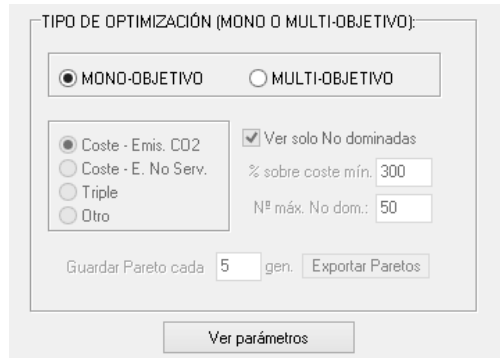


Ilustración 74. Optimización mono-objetivo

13. Estrategia de control

En los casos analizados, se ha fijado como estrategia de control, el **seguimiento de la demanda**. Así cuando la demanda no es cubierta por las energías renovables, serán las baterías las encargadas de suplir la potencia necesaria. Si tampoco fuese suficiente, se compraría energía de la red eléctrica.

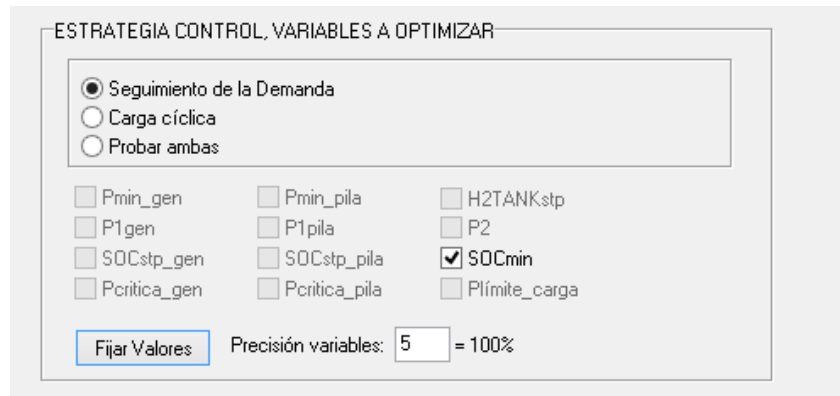


Ilustración 75. Estrategia de control del sistema

Pero la energía comprada no servirá para cargar las baterías, si fuera necesario. Cubre estrictamente la demanda.

Lo que sí contemplamos es que el valor de carga de la batería nunca esté por debajo del SOC min.

El SOC_{min} (%) es igual a $100 - PD_{max}$, donde PD_{max} es la máxima profundidad de descarga permitida (%), el cual depende del tipo de batería:

| Tipo de Batería | $PD_{MAX}(\%)$ | |
|----------------------|----------------|-------------|
| | Obligatorio | Recomendado |
| Tubular | 80 | 70 |
| SLI: | | |
| - Clásica | 50 | 30 |
| - Modificada | 60 | 40 |
| - Bajo-mantenimiento | 30 | 20 |

Ilustración 76. Profundidad máxima de descarga de las baterías SLI y tubular

En los casos de estudio será como mínimo el 20%.

14. Parámetros económicos

Por último, añadimos los valores de intereses e inflación, para calcular la amortización del coste de la instalación inicial:

PARÁMETROS ECONÓMICOS:

Intereses del mercado:(precio del dinero) %

Inflación esperada general (O&M...): %

Periodo de estudio años

Moneda: Euro (€)

Cableado, instalación y costes variables iniciales: € Fijo + % sobre C. inicial

Tasa de descuento general (%): 1,96 %

Préstamo (cuota constante, sistema francés):

Cantidad prestada: % del coste inicial de la inversión

Interés del préstamo: %

Duración del préstamo: años

Ilustración 77. Parámetros económicos del sistema autónomo

El precio del dinero estuvo en el 4% para el año 2014, la inflación esperada en el periodo de estudio (25 años) se estima en el 2%.

También se calcula, si la inversión se realiza mediante préstamo, cómo afecta a la amortización, conociendo el número de años del préstamo, la cantidad, y el interés medio.

4.4 CÁLCULO Y RESULTADOS DE LAS SIMULACIONES

Para el cálculo de cada uno de los escenarios, se han observado los valores máximos de estos parámetros que ofrece la herramienta, de modo que se condicione al cálculo:

?

Las 5 restricciones a considerar son:

- 1- Energía No Servida máxima permitida: 1% de la demanda total.
(Se permite la compra de la E. No Servida a la red AC. El máximo que se puede comprar es el 1% de la demanda)
- 2- Autonomía mínima exigida: 3 días.
(Si existe generador AC o pila de combustible con combustible externo o se compra E No Servida a la red AC, se considerará autonomía infinita)
- 3- Cap. nominal banco baterías (Ah) < 20 x (Icc gen. fotov. + Idc grupo aerogen. a 14 m/s).
(No considerar esta restricción si existe generador AC o pila de combustible con combustible externo o se compra E No Servida a la red AC)
- 4- Fracción renovable mínima: 0%.
- 5- Coste actualizado de la energía máximo: 100€/kWh.

Para cambiar estas restricciones, cancele. ¿Quiere seguir con la optimización del sistema?

En el caso de la autonomía, hemos forzado a que sea como mínimo, **4 días**.

Los resultados están agrupados por zonas de radiación y por escenarios de consumo bastante diferentes.

El principal método para calcular la rentabilidad de la inversión en iHoga 2.2 es el VAN (Valor Actual Neto). Realmente el VAN es la suma de los distintos ingresos menos los gastos trasladados al inicio de la inversión, siendo mejor inversión cuanto mayor es el VAN.

No obstante, en los casos a optimizar con iHOGA los flujos de caja suelen ser todos gastos (costes de adquisición, de reposición, de mantenimiento, etc) y no suele haber ingresos en sí, con lo que lo que aquí llamamos “VAN” realmente deberíamos llamar Coste Actual Neto (CAN), el equivalente al inglés Net Present Cost (NPC).

Sin embargo, este término en español no suele usarse, por eso se usa “VAN”, aunque debe quedar claro que estamos hablando de costes, con lo que cuanto menor sea nuestro VAN mejor será la inversión (menor Coste Actual Neto).

4.4.1 ZONA DE RADIACIÓN 1. OVIEDO

| Zona de radiación | Localidad | Latitud | Longitud |
|-------------------|-----------|----------|----------|
| I | Oviedo | 43,36237 | -5,84881 |

Respecto a su localización según las coordenadas de arriba, el perfil anual de radiación media mensual es el siguiente:

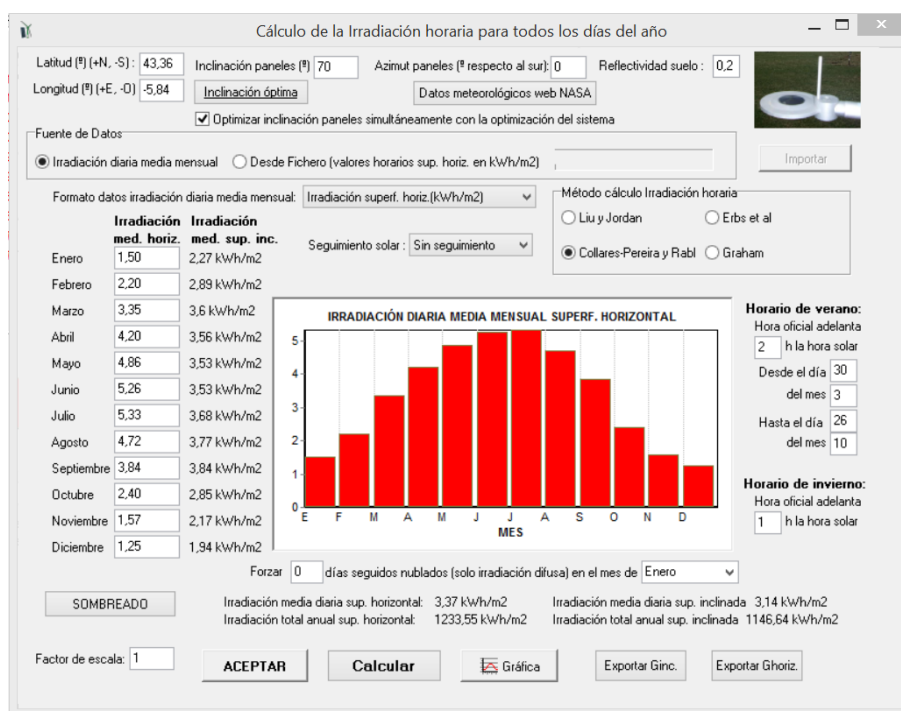


Ilustración 78. Radiación horaria y diaria, por meses, para la localidad de la zona I.

Los datos de cada mes, para irradiación horizontal, han sido extraídos de la web de la NASA.

Zona I. Perfil de Consumo: Consumo Residencial Convencional AC

A partir del perfil cargado: “Consumo Residencial Convencional AC”, se calcula la media horaria de consumo para cada uno de los doce meses, como se muestra a continuación:

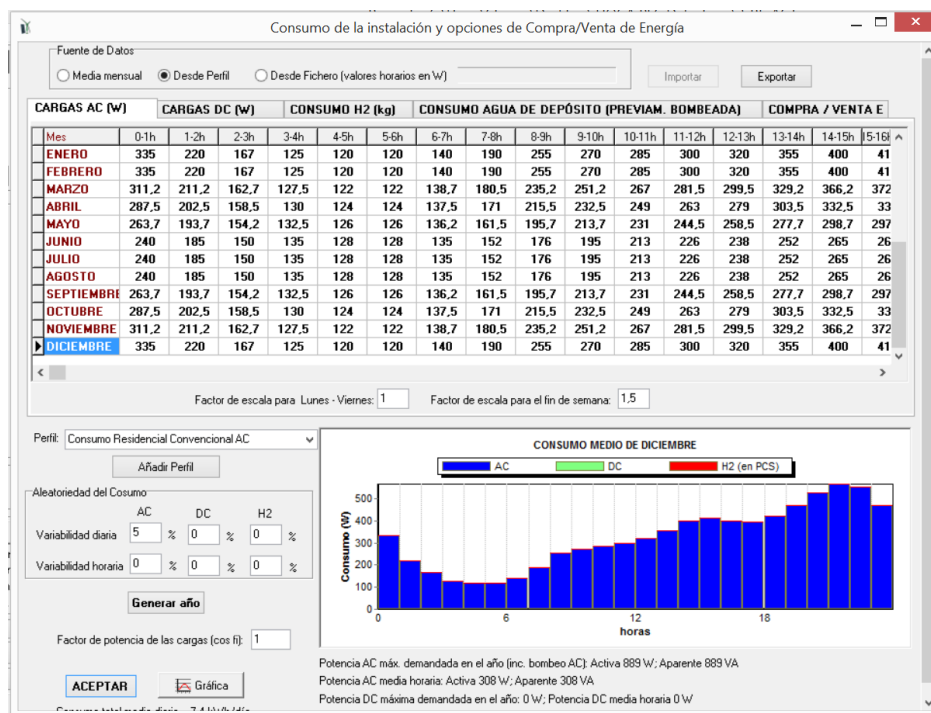
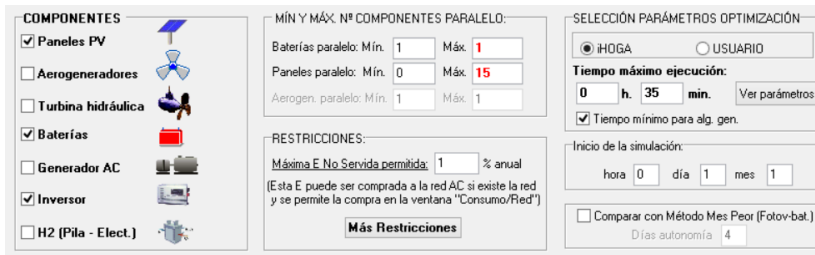


Ilustración 79. Perfil de consumo horario residencial convencional AC

La definición del perfil de irradiación y sobre todo el de consumo, nos permite calcular el número de paneles en paralelo que necesitamos, como máximo, para alcanzar la potencia necesaria en nuestro sistema. En este caso ese máximo es 15:



COMPONENTES

☒ Paneles PV

☐ Aerogeneradores

☐ Turbina hidráulica

☒ Baterías

☐ Generador AC

☒ Inversor

☐ H2 (Pila - Elect.)

MÍN Y MÁX. Nº COMPONENTES PARALELO:

Baterías paralelo: Mín. 1 Máx. 1

Paneles paralelo: Mín. 0 Máx. 15

Aerogen. paralelo: Mín. 1 Máx. 1

RESTRICCIONES:

Máxima E No Servida permitida: 1 % anual

(Esta E puede ser comprada a la red AC si existe la red y se permite la compra en la ventana "Consumo/Red")

Más Restricciones

SELECCIÓN PARÁMETROS OPTIMIZACIÓN

☒ iHOGA ☐ USUARIO

Tiempo máximo ejecución: 0 h, 35 min. Ver parámetros

☒ Tiempo mínimo para alg. gen.

Inicio de la simulación: hora 0 día 1 mes 1

☐ Comparar con Método Mes Peor (Fotov-bat.)

Días autonomía: 4

Ilustración 80. Número máximo de paneles en paralelo para satisfacer la demanda. Zona 1. Perfil Residencial

Con los perfiles de irradiación, los componentes elegibles, y el perfil de consumo, aparecen 32640 combinaciones que vamos a estudiar:

| Nº DE CASOS A EVALUAR Y TIEMPO ESPERADO: | | | | |
|---|-------------|------------------|------------------------|--------------------|
| Velocidad de cálculo: 100.629 casos/segundo | | | | |
| | M. ENUMER. | POB (% TODAS C.) | ALG. GEN. (% TODAS C.) | |
| ALG. PCPAL. (COMB. COMPONENTES): | 32640 | 14923 (45,72%) | 211310 (647,4%) | |
| | (1x32640) | | | |
| ALG. SEC. (COMB. VARIABLES CONT.): | 1 | 3 (300%) | 41 (4100%) | |
| | | | | |
| | ALG. PCPAL. | ALG. SEC. | CASOS A EVALUAR | % TIEMPO ESPERADO |
| OPCIÓN 1: | M. ENUM. | M. ENUM. | 32640 | 100 % 0h 5' 24" |
| OPCIÓN 2: | M. ENUM. | ALG. GEN. | 1338240 | 4100 % 3h 41' |
| OPCIÓN 3: | ALG. GEN. | M. ENUM. | 211310 | 647,4 % 0h 34' 59" |
| OPCIÓN 4: | ALG. GEN. | ALG. GEN. | 8663710 | 26543,2 % 23h 54' |
| Optimización mediante el método enumerativo. Se garantiza obtener el óptimo | | | | |

Ilustración 81. Casos de estudio para zona I y perfil residencial.

La herramienta compara los distintos métodos, y concluye que con métodos numéricos para el algoritmo principal (Combinación de componentes) y el secundario (Combinación de Variables), obtenemos un resultado óptimo garantizado, sobre el 100% de las combinaciones.

Tras el estudio, la herramienta nos muestra los casos mejores, ordenados:

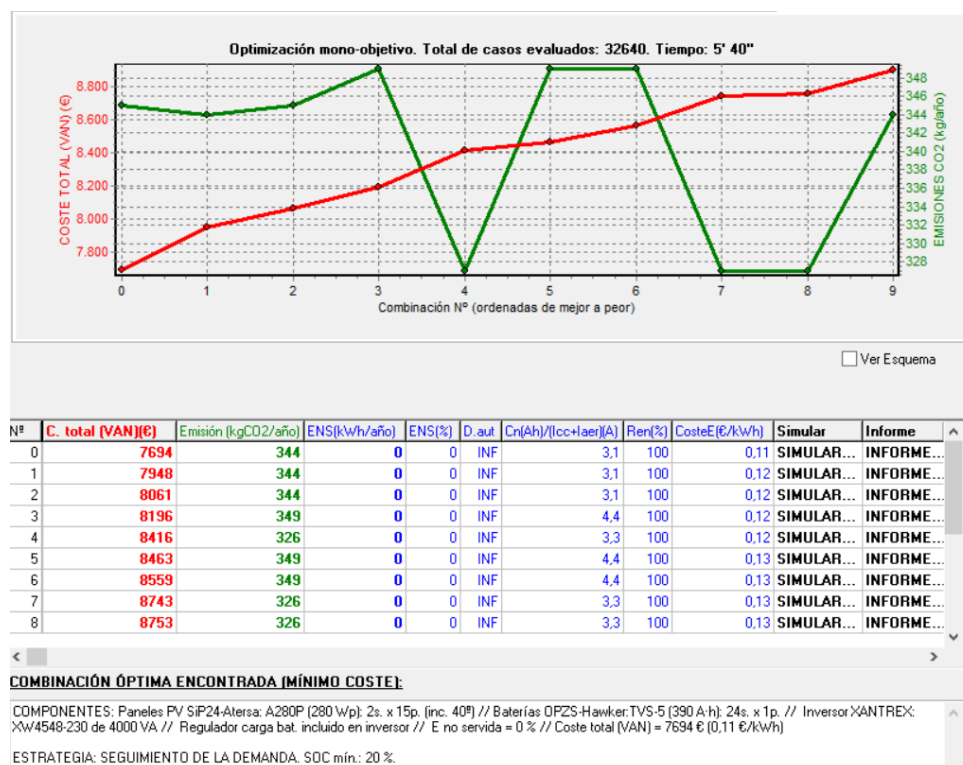


Ilustración 82. Resumen de las mejores combinaciones encontradas para el estudio de la zona I, perfil Residencial

La combinación 0 es siempre la combinación óptima, tanto en componentes (costes) como en emisiones de CO2, que son los dos objetivos de la optimización.

En este caso incluye 15 paneles PV SiP24-Atersa A280P, con potencia 280 Wp, y una inclinación del 40%. Una batería OPZS Hawker TVS-5 de 390Ah y un inversor XANTREX XW4548-230 de 4000VA, con regulador de carga incluido.

Todo ello, supone una inversión de 7694€, y proporciona un valor estimado por cada kW generado y consumido, de 0,11€, sumando los servidos por la red pública

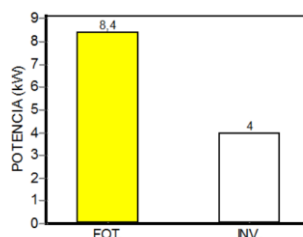
iHoga 2.2 nos proporciona un informe del sistema autónomo óptimo para esta zona, y este consumo:

Proyecto: 1 RE AC.hoga. Config. nº 0

Tensión DC: 48 V. Tensión AC: 230 V

COMPONENTES

Paneles PV SiP24-Atersa: A280P (280 Wp): 2 serie x 15 par. Ptotal = 8,4 kWp, 40° inc.
Baterías OPZS-Hawker: TVS-5 (Cn=390 A·h): 24 s. x 1 p. E total = 18,7 kWh (1,7 d.aut)
Sin Aerogeneradores
Sin Turbina Hid.
Sin Generador AC
Sin Pila Comb.
Sin Electrolizador
Inversor XANTREX: XW4548-230, pot. nominal 4000 VA
Regulador carga bat. incluido en inversor //
Sin Rectificador-cargador baterías



ESTRATEGIA DE CONTROL:

SEGUIMIENTO DE LA DEMANDA. SOC min. baterías = 20 %

SÍ LA POTENCIA PRODUCIDA POR LAS FUENTES RENOVABLES ES SUPERIOR AL CONSUMO: CARGA

Se cargan las Baterías con la potencia sobrante

SÍ LA POTENCIA PRODUCIDA POR LAS FUENTES RENOVABLES ES INFERIOR AL CONSUMO: DESCARGA

Toda la potencia que falta deben suministrarla las baterías. Si no pueden, como no tienen apoyo, la energía que falta será Energía No Suministrada.

No existe Generador AC

Coste inicial de la inversión: 17495 €. Préstamo del 80 %, cuota anual: 1992,7 €. Coste combust. gen. AC 1º año: 0 €

COSTES PERIODO ESTUDIO (25 años) (VAN): (frente a caso de solo RED AC, 2703kWh/año, C.total (VAN) de 11882 €)

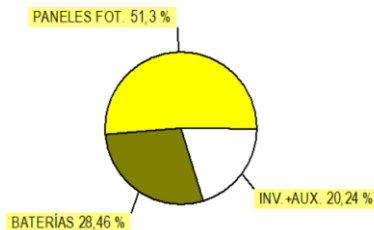
Coste Total del sistema (VAN): 7694 €. Coste actualizado de la energía suministrada: 0,11 €/kWh

Coste Grupo Fotovoltaico (VAN): 13344 €

Coste Banco Baterías (VAN): 7402 €

Coste Inversor (VAN): 5265 €

Compra/Venta E. Gastos: Compra E. Elect(VAN): 1978 €. Ingresos: Venta E. Elect. (VAN): -23099 €. Venta H2 (VAN): 0 €.



BALANCE DE ENERGÍAS DEL SISTEMA A LO LARGO DE 1 AÑO:

Energía Total Demandada: 2702 kWh/año. Cubierta por ren.100%

Energía No Servida: 0 kWh/año (0 % de la demandada)

Energía producida en Exceso: 9594 kWh/año

Energía generada por los Paneles Fotov.: 13003 kWh/año

Energía generada por los Aerogeneradores: 0 kWh/año

Energía generada por la Turbina Hid.: 0 kWh/año

Energía generada por el Generador AC: 0 kWh/año

Horas de funcionamiento del Generador AC: 0 h/año

Energía generada por la Pila de Combustible: 0 kWh/año

Horas de funcionamiento de la Pila de Comb.: 0 h/año

Energía consumida por el Electrolizador: 0 kWh/año

Horas de funcionamiento del Electrolizador: 0 h/año

Energía cargada en las baterías: 1726 kWh/año

Energía descargada desde las baterías: 1730 kWh/año

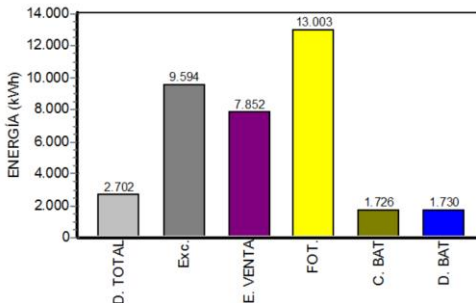
Vida de las baterías: 13,56 años

E. Eléctrica Vendida a Red AC: 7852 kWh/año

E. Eléctrica Comprada a Red AC: 0 kWh/año

Emissiones totales de CO2: 344 kg CO2/año; Emissiones solo del generador AC(debidas al consumo de 0 litro/año): 0 kg CO2/año

H2 vendido anual: 0 kg H2/año // IDH: 0,5835. Empleos creados durante vida sistema: 0,2628



En él se puede observar tres apartados:

- **Componentes del sistema óptimo:** paneles, batería e inversor.
- **Costes del sistema,** según el precio de los componentes instalados. Nos muestra también el coste general de la generación de energía frente al consumo sólo desde la red eléctrica. Y el coste medio de KWh, teniendo en cuenta el total de energía generada en un año.
- **Balance de energías,** donde compara las energías consumidas y las generadas. La vida útil de las baterías, y las emisiones CO2.

Zona I, Perfil de Consumo: Elevado AC

En este caso el perfil es más exigente en demanda:

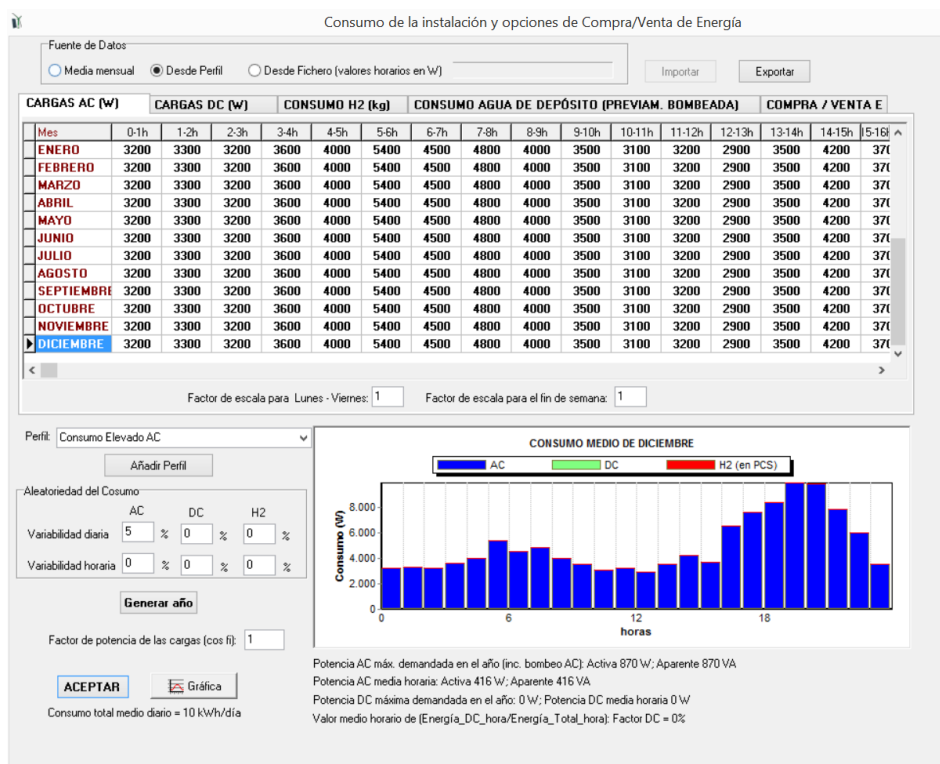


Ilustración 83. Perfil de la demanda por horas y meses del perfil Consumo Elevado AC

Ello hace que se eleve el número de paneles máximo, tras el pre-dimensionamiento, a 17, en paralelo.

COMPONENTES

- ☒ Paneles PV
- ☐ Aerogeneradores
- ☐ Turbina hidráulica
- ☒ Baterías
- ☐ Generador AC
- ☒ Inversor
- ☐ H2 (Pila - Elect.)

MÍN Y MÁX. N° COMPONENTES PARALELO:

Baterías paralelo: Mín. 1 Máx. 1

Paneles paralelo: Mín. 0 Máx. 17

Aerog. paralelo: Mín. 1 Máx. 1

SELECCIÓN PARÁMETROS OPTIMIZACIÓN

☒ iHOGA ☐ USUARIO

Tiempo máximo ejecución:

0 h. 35 min. Ver parámetros

☒ Tiempo mínimo para alg. gen.

Restricciones:

Máxima E No Servida permitida: 1 % anual

(Esta E puede ser comprada a la red AC si existe la red y se permite la compra en la ventana "Consumo/Red")

Más Restricciones

Inicio de la simulación:

hora 0 día 1 mes 1

☐ Comparar con Método Mes Peor (Fotov-bat.)

Días autonomía 4

Ilustración 84. Número máximo de paneles en paralelo para satisfacer la demanda. Zona 1. Perfil Consumo elevado

Como en todos los casos estudiados, el método numérico (en el algoritmo principal y secundario), ha sido capaz de encontrar la combinación perfecta, estudiando el 100 de las combinaciones:

N° DE CASOS A EVALUAR Y TIEMPO ESPERADO:

Velocidad de cálculo: 80.999 casos/segundo

| | M. ENUMER. | POB (% TODAS C.) | ALG. GEN. (% TODAS C.) |
|------------------------------------|------------|------------------|------------------------|
| ALG. PCPAL. (COMB. COMPONENTES): | 36720 | 11997 (32.67%) | 169878 (462.63%) |
| ALG. SEC. (COMB. VARIABLES CONT.): | 1 | 3 (300%) | 41 (4100%) |

| | ALG. PCPAL. | ALG. SEC. | CASOS A EVALUAR | % | TIEMPO ESPERADO |
|-----------|-------------|-----------|-----------------|-----------|-----------------|
| OPCIÓN 1: | M. ENUM. | M. ENUM. | 36720 | 100 % | 0h 7' 33" |
| OPCIÓN 2: | M. ENUM. | ALG. GEN. | 1505520 | 4100 % | 5h 10' |
| OPCIÓN 3: | ALG. GEN. | M. ENUM. | 169878 | 462.6 % | 0h 34' 59" |
| OPCIÓN 4: | ALG. GEN. | ALG. GEN. | 6964998 | 18967.9 % | 23h 54' |

Optimización mediante el método enumerativo. Se garantiza obtener el óptimo

Ilustración 85. Casos de estudio para zona I y perfil elevado

La herramienta muestra los mejores casos encontrados, con una gráfica en la que muestra la combinación de coste total y emisión de CO₂ (son los parámetros que se han tenido en cuenta para generar la optimización):

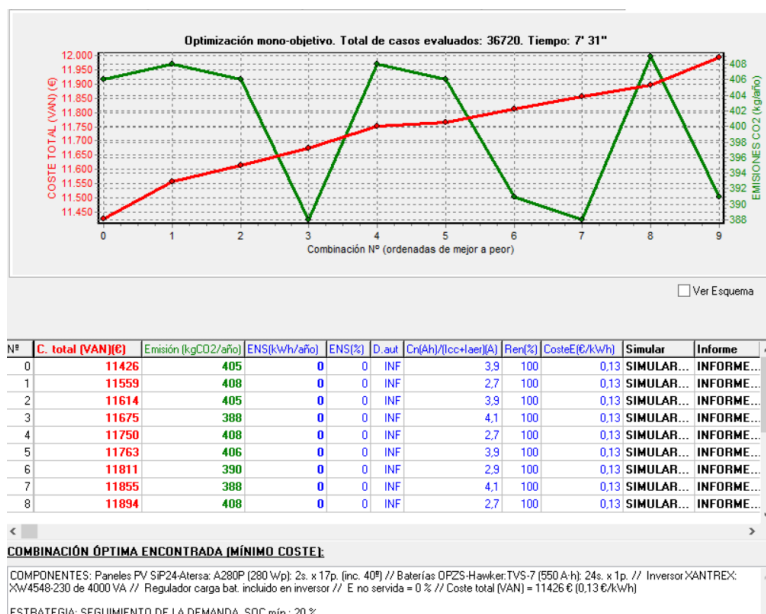


Ilustración 86. Resumen de las mejores combinaciones encontradas para el estudio de la zona I, perfil C. elevado

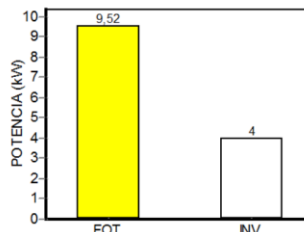
Finalmente el informe que se obtiene para este perfil de consumo elevado, es el siguiente:

Proyecto: 1_ELE AC.hoga. Config. nº 0

Tensión DC: 48 V. Tensión AC: 230 V

COMPONENTES

Paneles PV SIF24-Atersa: A280P (280 Wp): 2 serie x 17 par. Ptotal = 9,52 kWp, 40° inc.
Baterías OPZS-Hawker: TVS-7 (Cn=550 A·h): 24 s. x 1 p. E total = 26,4 kWh (1,8 d.aut)
Sin Aerogeneradores
Sin Turbina Hid.
Sin Generador AC
Sin Pila Comb.
Sin Electrolizador
Inversor XANTREX: XW4548-230, pot. nominal 4000 VA
Regulador carga bat. incluido en inversor //
Sin Rectificador-cargador baterías



ESTRATEGIA DE CONTROL:

SEGUIMIENTO DE LA DEMANDA. SOC mín. baterías = 20 %

SI LA POTENCIA PRODUCIDA POR LAS FUENTES RENOVABLES ES SUPERIOR AL CONSUMO: CARGA

Se cargan las Baterías con la potencia sobrante

SI LA POTENCIA PRODUCIDA POR LAS FUENTES RENOVABLES ES INFERIOR AL CONSUMO: DESCARGA

Toda la potencia que falta deben suministrarla las baterías. Si no pueden, como no tienen apoyo, la energía que falte será Energía No Suministrada.

No existe Generador AC

Coste inicial de la inversión: 19831 €. Préstamo del 80 %, cuota anual: 2258,8 €. Coste combust. gen. AC 1º año: 0 €
COSTES PERIODO ESTUDIO (25 años) (VAN): (frente a caso de solo RED AC, 3650kWh/año, C.total (VAN) de 14308 €)

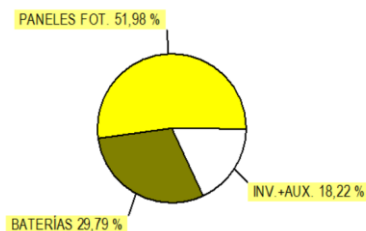
Coste Total del sistema (VAN): 11426 €. Coste actualizado de la energía suministrada: 0,13 €/kWh

Coste Grupo Fotovoltaico (VAN): 15019 €

Coste Banco Baterías (VAN): 8608 €

Coste Inversor (VAN): 5265 €

Compra/Venta E. Gastos: Compra E. Ect(VAN): 2567 €. Ingresos: Venta E Ect. (VAN): -23172 €. Venta H2 (VAN): 0 €.



BALANCE DE ENERGÍAS DEL SISTEMA A LO LARGO DE 1 AÑO:

Energía Total Demandada: 3649 kWh/año. Cubierta por ren.100%

Energía No Servida: 0 kWh/año (0 % de la demandada)

Energía producida en Exceso: 10325 kWh/año

Energía generada por los Paneles Fotov.: 14737 kWh/año

Energía generada por los Aerogeneradores: 0 kWh/año

Energía generada por la Turbina Hid.: 0 kWh/año

Energía generada por el Generador AC: 0 kWh/año

Horas de funcionamiento del Generador AC: 0 h/año

Energía generada por la Pila de Combustible: 0 kWh/año

Horas de funcionamiento de la Pila de Comb.: 0 h/año

Energía consumida por el Electrolizador: 0 kWh/año

Horas de funcionamiento del Electrolizador: 0 h/año

Energía cargada en las baterías: 2373 kWh/año

Energía descargada desde las baterías: 2376 kWh/año

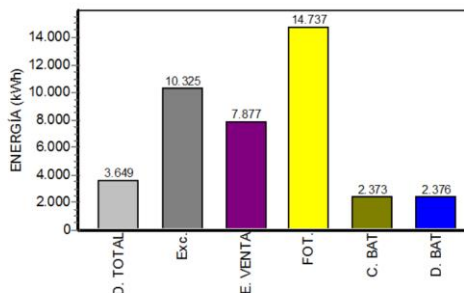
Vida de las baterías: 14,33 años

E. Eléctrica Vendida a Red AC: 7877 kWh/año

E. Eléctrica Comprada a Red AC: 0 kWh/año

Emissiones totales de CO2: 405 kg CO2/año; Emisiones solo del generador AC(debidas al consumo de 0 litro/año): 0 kg CO2/año

H2 vendido anual: 0 kg H2/año // IDH: 0,6129. Empleos creados durante vida sistema: 0,3205



Como era de esperar, el coste de generación de KWh es más caro, debido a que una mayor demanda, conlleva un mayor uso de recursos, sobre todo, paneles fotovoltaicos.

Perfil de Consumo: Oficina AC

Por último, se ha estudiado el perfil de oficina, con menor consumo en el fin de semana.

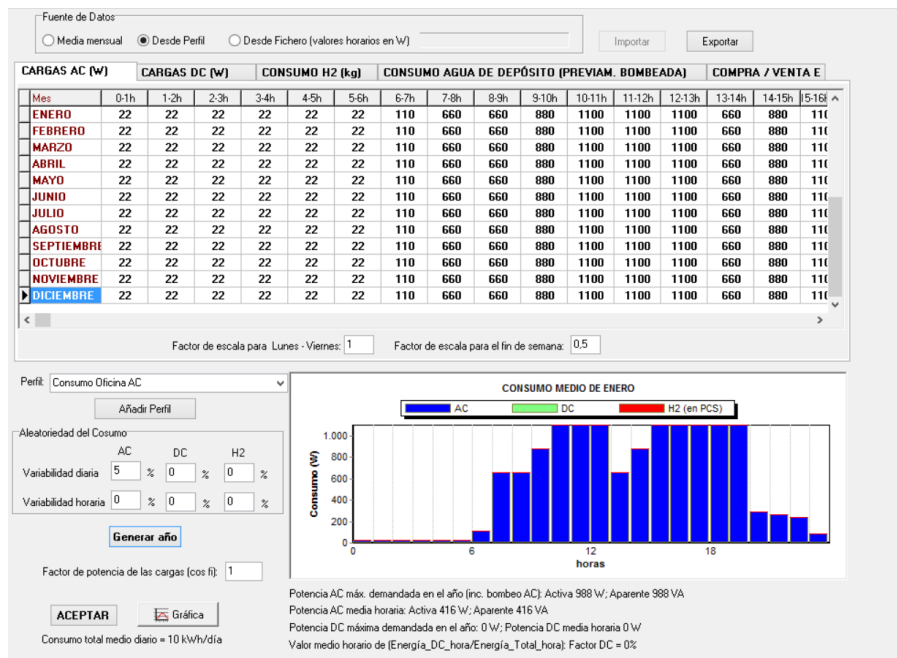
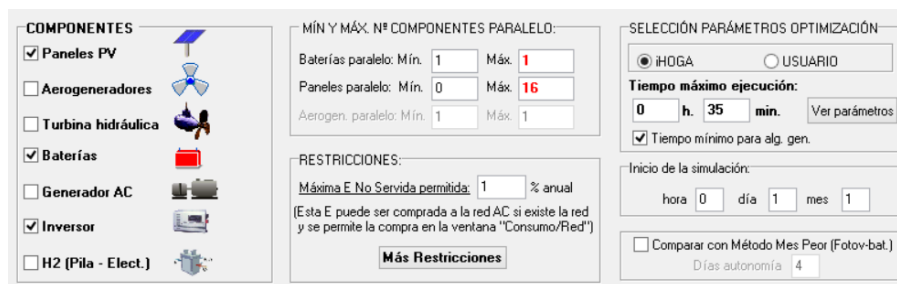


Ilustración 87. Perfil de la demanda por horas y meses del perfil consumo en oficina

El predimensionamiento, nos indica que hay que instalar 16 paneles, uno menos que el consumo elevado, y uno más que en residencial:



COMPONENTES

- ☒ Paneles PV
- ☐ Aerogeneradores
- ☐ Turbina hidráulica
- ☒ Baterías
- ☐ Generador AC
- ☒ Inversor
- ☐ H2 (Pila - Elect.)

MÍN Y MÁX. N° COMPONENTES PARALELO:

Baterías paralelo: Mín. 1 Máx. 1
 Paneles paralelo: Mín. 0 Máx. 16
 Aerogen. paralelo: Mín. 1 Máx. 1

SELECCIÓN PARÁMETROS OPTIMIZACIÓN

☒ iHOGA ☐ USUARIO

Tiempo máximo ejecución: 0 h. 35 min. Ver parámetros

☒ Tiempo mínimo para alg. gen.

Inicio de la simulación: hora 0 día 1 mes 1

☐ Comparar con Método Mes Peor (Fotov-bat.)
 Días autonomía 4

RESTRICCIONES:

Máxima E No Servida permitida: 1 % anual
 (Esta E puede ser comprada a la red AC si existe la red y se permite la compra en la ventana "Consumo/Red")

Más Restricciones

Ilustración 88. Número máximo de paneles en paralelo para satisfacer la demanda. Zona 1. Perfil consumo en oficina

El método que nos garantiza el sistema óptimo vuelve a ser el enumerico para ambos algoritmos:

| Nº DE CASOS A EVALUAR Y TIEMPO ESPERADO: | | | | |
|---|------------|------------------|------------------------|--------------------|
| Velocidad de cálculo: 90,909 casos/segundo | | | | |
| | M. ENUMER. | FOR (% TODAS C.) | ALG. GEN. (% TODAS C.) | |
| ALG. PCPAL. (COMB. COMPONENTES): | 34680 | 13482 (38,88%) | 190905 (550,48%) | |
| ALG. SEC. (COMB. VARIABLES CONT.): | 1 | 3 (300%) | 41 (4100%) | |
| ALG. PCPAL. | ALG. SEC. | CASOS A EVALUAR | % | TIEMPO ESPERADO |
| OPCIÓN 1: | M. ENUM. | M. ENUM. | 34680 | 100 % 0h 6' 21" |
| OPCIÓN 2: | M. ENUM. | ALG. GEN. | 1421880 | 4100 % 4h 20' |
| OPCIÓN 3: | ALG. GEN. | M. ENUM. | 190905 | 550,5 % 0h 34' 53" |
| OPCIÓN 4: | ALG. GEN. | ALG. GEN. | 7827105 | 22569,5 % 23h 54' |
| Optimización mediante el método enumerativo. Se garantiza obtener el óptimo | | | | |

Ilustración 89. Casos de estudio para zona I y perfil consumo en oficina.

Los resultados aparecen ordenados por los principales parámetros de optimización, junto al caso óptimo, que es el implementaremos.

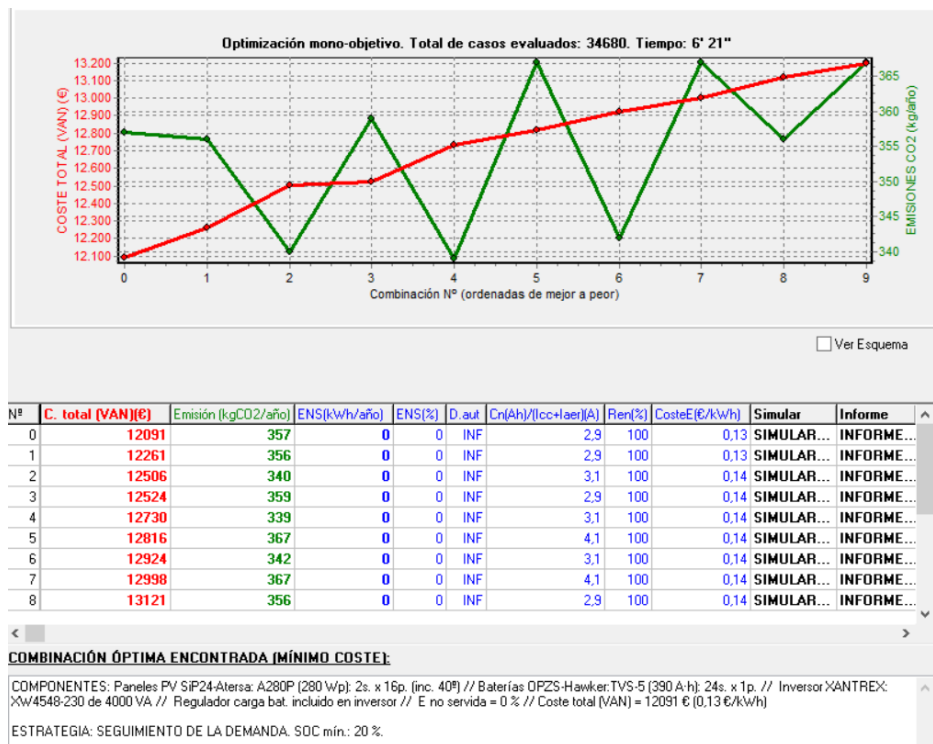


Ilustración 90. Resumen de las mejores combinaciones encontradas para el estudio de la zona I, perfil C. oficina

Para la combinación óptima, tenemos un coste de generación de kWh, de 13 céntimos de euro, similar al del perfil elevado. El de menor coste, será el de perfil residencial.

El informe en su totalidad aparece a continuación:

Proyecto: 1 OFI AC.hoga. Config. nº 0

Tensión DC: 48 V. Tensión AC: 230 V

COMPONENTES

Paneles PV SIP24-Atersa: A280P (280 Wp): 2 serie x 16 par. Ptotal = 8,96 kWp, 40° inc.
Baterías OPZS-Hawker: TVS-5 (Cn=390 A·h): 24 s. x 1 p. E total = 18,7 kWh (1,3 d.aut)
Sin Aerogeneradores
Sin Turbina Hid.
Sin Generador AC
Sin Pila Comb.
Sin Electrolizador
Inversor XANTREX: XW4548-230, pot. nominal 4000 VA
Regulador carga bat. incluido en inversor //
Sin Rectificador-cargador baterías

ESTRATEGIA DE CONTROL:

SEGUIMIENTO DE LA DEMANDA: SOC mín. baterías = 20 %

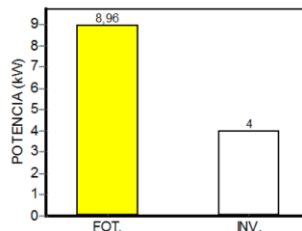
SÍ LA POTENCIA PRODUCIDA POR LAS FUENTES RENOVABLES ES SUPERIOR AL CONSUMO: CARGA

Se cargan las Baterías con la potencia sobrante

SÍ LA POTENCIA PRODUCIDA POR LAS FUENTES RENOVABLES ES INFERIOR AL CONSUMO: DESCARGA

Toda la potencia que falta deben suministrarla las baterías. Si no pueden, como no tienen apoyo, la energía que falte será Energía No Suministrada.

No existe Generador AC



Coste inicial de la inversión: 18209 €. Préstamo del 80 %, cuota anual: 2074 €. Coste combust. gen. AC 1º año: 0 €
COSTES PERIODO ESTUDIO (25 años) (VAN): (frente a caso de solo RED AC, 3650kWh/año, C.total (VAN) de 14308 €)

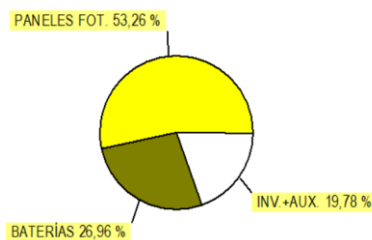
Coste Total del sistema (VAN): 12091 €. Coste actualizado de la energía suministrada: 0,13 €/kWh

Coste Grupo Fotovoltaico (VAN): 14181 €

Coste Banco Baterías (VAN): 7178 €

Coste Inversor (VAN): 5265 €

Compra/Venta E. Gastos: Compra E. Elect(VAN): 2969 €. Ingresos: Venta E. Elect. (VAN): -20409 €. Venta H2 (VAN): 0 €.



BALANCE DE ENERGÍAS DEL SISTEMA A LO LARGO DE 1 AÑO:

Energía Total Demandada: 3650 kWh/año. Cubierta por ren. 100%

Energía No Servida: 0 kWh/año (0 % de la demandada)

Energía producida en Exceso: 8878 kWh/año

Energía generada por los Paneles Fotov.: 13870 kWh/año

Energía generada por los Aerogeneradores: 0 kWh/año

Energía generada por la Turbina Hid.: 0 kWh/año

Energía generada por el Generador AC: 0 kWh/año

Horas de funcionamiento del Generador AC: 0 h/año

Energía generada por la Pila de Combustible: 0 kWh/año

Horas de funcionamiento de la Pila de Comb.: 0 h/año

Energía consumida por el Electrolizador: 0 kWh/año

Horas de funcionamiento del Electrolizador: 0 h/año

Energía cargada en las baterías: 1637 kWh/año

Energía descargada desde las baterías: 1638 kWh/año

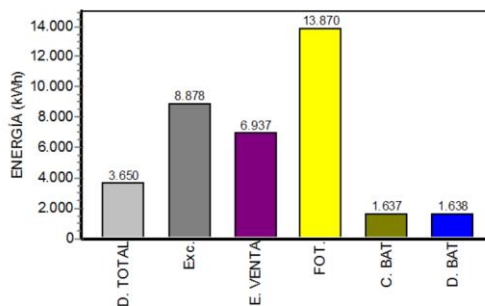
Vida de las baterías: 14,61 años

E. Eléctrica Vendida a Red AC: 6937 kWh/año

E. Eléctrica Comprada a Red AC: 0 kWh/año

Emissiones totales de CO2: 357 kg CO2/año; Emissiones solo del generador AC(debidas al consumo de 0 litro/año): 0 kg CO2/año

H2 vendido anual: 0 kg H2/año // IDH: 0,6129. Empleos creados durante vida sistema: 0,3017



4.4.2 ZONA DE RADIACIÓN 2. OURENSE

| Zona de radiación | Localidad | Latitud | Longitud |
|-------------------|-----------|----------|----------|
| II | Ourense | 42,33590 | -7,86392 |

La segunda zona estudiada, presente el siguiente perfil de radiación:

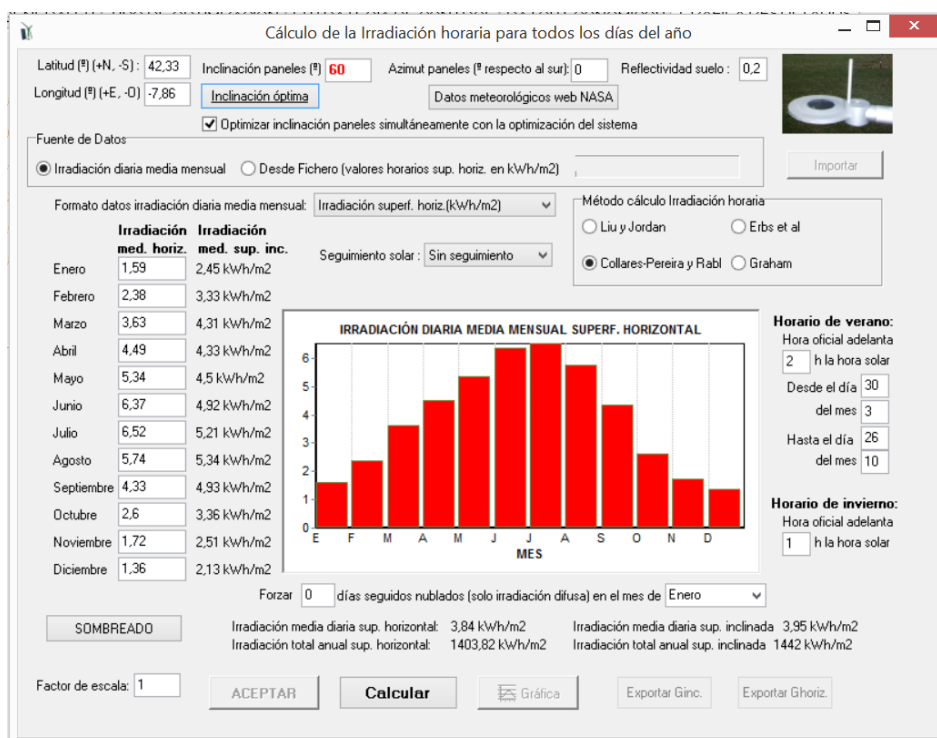


Ilustración 91. Perfil de radiación horaria, por meses. Para la zona II

Se trata de un perfil con más radiación estival, y similar en invierno, a la zona I.

Los casos estudiados por perfil de consumo en esta zona son los tres ya conocidos:

Perfil de Consumo: Consumo Residencial Convencional AC

Se ha usado el mismo perfil de consumo residencial, para la zona II, que en las demás zonas:

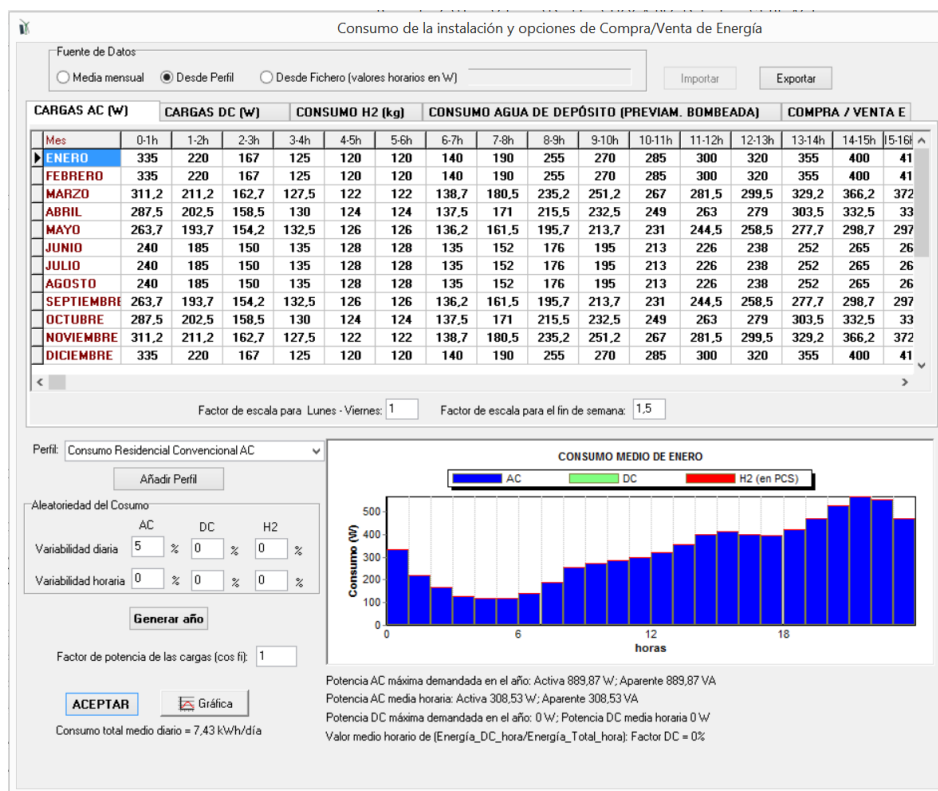
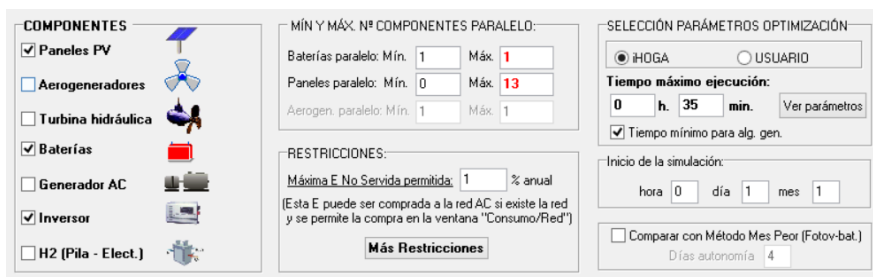


Ilustración 92. Perfil de la demanda por horas y meses del perfil consumo residencial

En este caso, vemos una reducción del número de paneles a 13:



COMPONENTES

- ☒ Paneles PV
- ☐ Aerogeneradores
- ☐ Turbina hidráulica
- ☒ Baterías
- ☐ Generador AC
- ☒ Inversor
- ☐ H2 (Pila - Elect.)

MÍN Y MÁX. N° COMPONENTES PARALELO:

Baterías paralelo: Mín. 1 Máx. 1

Paneles paralelo: Mín. 0 Máx. 13

Aerogen. paralelo: Mín. 1 Máx. 1

SELECCIÓN PARÁMETROS OPTIMIZACIÓN

☒ HOGA ☐ USUARIO

Tiempo máximo ejecución: 0 h. 35 min. Ver parámetros

☒ Tiempo mínimo para alg. gen.

Inicio de la simulación: hora 0 día 1 mes 1

☐ Comparar con Método Mes Peor (Fotov-bat.)

Días autonomía: 4

RESTRICCIONES:

Máxima E.No Servida permitida: 1 % anual

(Esta E. puede ser comprada a la red AC si existe la red y se permite la compra en la ventana "Consumo/Red")

Más Restricciones

Ilustración 93. Número máximo de paneles en paralelo para satisfacer la demanda. Zona II. Perfil consumo residencial

Las combinaciones que obtenemos son 28560, y se puede llegar al óptimo sólo con métodos numéricos:

CAPÍTULO 4. SIMULACIONES AUTOCONSUMO

| Nº DE CASOS A EVALUAR Y TIEMPO ESPERADO: | | | | |
|---|-------------|------------------|------------------------|--------------------|
| Velocidad de cálculo: 77,778 casos/segundo | | | | |
| | M. ENUMER. | POB (% TODAS C.) | ALG. GEN. (% TODAS C.) | |
| ALG. PCPAL. (COMB. COMPONENTES): | 28560 | 11534 (40,39%) | 163321 (571,85%) | |
| | (1x28560) | | | |
| ALG. SEC. (COMB. VARIABLES CONT.): | 1 | 3 (300%) | 41 (4100%) | |
| | ALG. PCPAL. | ALG. SEC. | CASOS A EVALUAR | % TIEMPO ESPERADO |
| OPCIÓN 1: | M. ENUM. | M. ENUM. | 28560 | 100 % 0h 6' 7" |
| OPCIÓN 2: | M. ENUM. | ALG. GEN. | 1170960 | 4100 % 4h 10' |
| OPCIÓN 3: | ALG. GEN. | M. ENUM. | 163321 | 571,9 % 0h 34' 59" |
| OPCIÓN 4: | ALG. GEN. | ALG. GEN. | 6696161 | 23445,9 % 23h 54' |
| Optimización mediante el método enumerativo. Se garantiza obtener el óptimo | | | | |

Ilustración 94. Casos de estudio para zona II y perfil consumo residencial.

Los resultados arrojan que el caso óptimo, tiene un coste total de 14907€ y una emisión de 312 Kg de CO₂ anuales. Estas emisiones provienen de la fabricación de los diferentes sistemas, y de la energía comprada a la red (que en este caso en concreto es del 0%, y por tanto, no afecta al cómputo global).

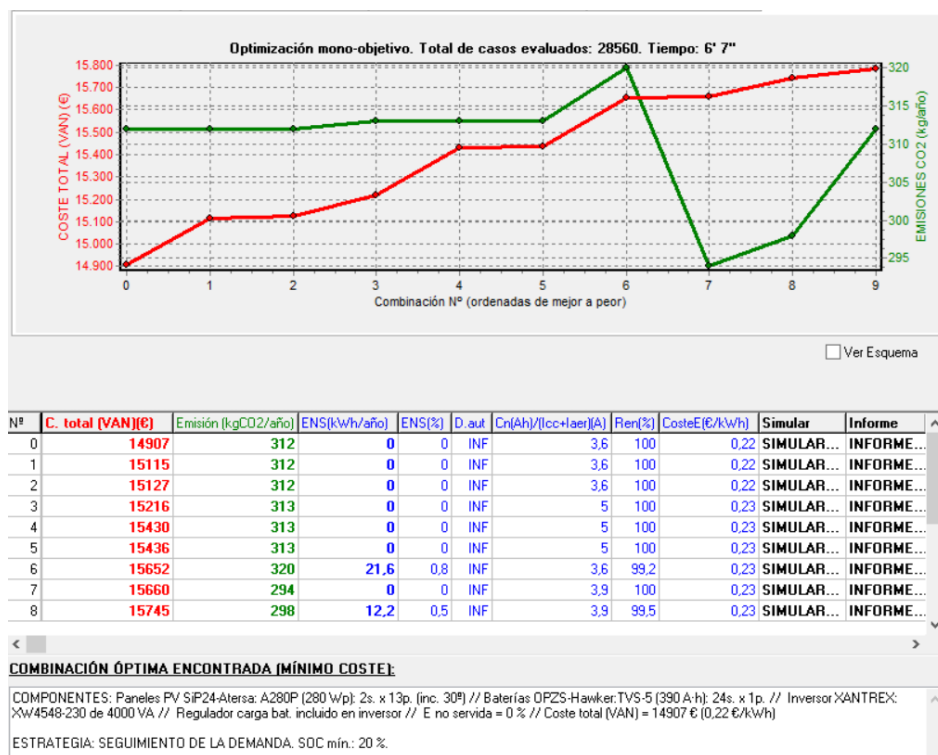


Ilustración 95. Resumen de las mejores combinaciones encontradas para el estudio de la zona II, perfil residencial de consumo

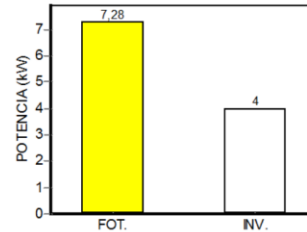
El informe general sobre este caso, se muestra a continuación:

Proyecto: 2 RE AC.hoga. Config. nº 0

Tensión DC: 48 V. Tensión AC: 230 V

COMPONENTES

Paneles PV SIP24-Atersa: A280P (280 Wp): 2 serie x 13 par. Ptotal = 7,28 kWp, 30° inc.
Baterías OPZS-Hawker: TVS-5 (Cn=390 A·h): 24 s. x 1 p. Etotal = 18,7 kWh (1,7 d.aut)
Sin Aerogeneradores
Sin Turbina Hid.
Sin Generador AC
Sin Pila Comb.
Sin Electrolizador
Inversor XANTREX: XW4548-230, pot. nominal 4000 VA
Regulador carga bat. incluido en inversor //
Sin Rectificador-cargador baterías



ESTRATEGIA DE CONTROL:

SEGUIMIENTO DE LA DEMANDA. SOC mín. baterías = 20 %

SI LA POTENCIA PRODUCIDA POR LAS FUENTES RENOVABLES ES SUPERIOR AL CONSUMO: CARGA

Se cargan las Baterías con la potencia sobrante

SI LA POTENCIA PRODUCIDA POR LAS FUENTES RENOVABLES ES INFERIOR AL CONSUMO: DESCARGA

Toda la potencia que falta deben suministrarla las baterías. Si no pueden, como no tienen apoyo, la energía que falte será Energía No Suministrada.

No existe Generador AC

Coste inicial de la inversión: 16067 €. Préstamo del 80 %, cuota anual: 1830 €. Coste combust. gen. AC 1º año: 0 €
COSTES PERIODO ESTUDIO (25 años) (VAN): (frente a caso de solo RED AC, 2703kWh/año, C.total (VAN) de 11882 €)

Coste Total del sistema (VAN): 14907 €. Coste actualizado de la energía suministrada: 0,22 €/kWh

Coste Grupo Fotovoltaico (VAN): 11669 €

Coste Banco Baterías (VAN): 7594 €

Coste Inversor (VAN): 5265 €

Compra/Venta E. Gastos: Compra E. Elect(VAN): 1986 €. Ingresos: Venta E. Elect. (VAN): -14207 €. Venta H2 (VAN): 0 €.

BALANCE DE ENERGÍAS DEL SISTEMA A LO LARGO DE 1 AÑO:

Energía Total Demandada: 2702 kWh/año. Cubierta por ren.100%

Energía No Servida: 0 kWh/año (0 % de la demandada)

Energía producida en Exceso: 5679 kWh/año

Energía generada por los Paneles Fotov.: 9105 kWh/año

Energía generada por los Aerogeneradores: 0 kWh/año

Energía generada por la Turbina Hid.: 0 kWh/año

Energía generada por el Generador AC: 0 kWh/año

Horas de funcionamiento del Generador AC: 0 h/año

Energía generada por la Pila de Combustible: 0 kWh/año

Horas de funcionamiento de la Pila de Comb.: 0 h/año

Energía consumida por el Electrolizador: 0 kWh/año

Horas de funcionamiento del Electrolizador: 0 h/año

Energía cargada en las baterías: 1813 kWh/año

Energía descargada desde las baterías: 1818 kWh/año

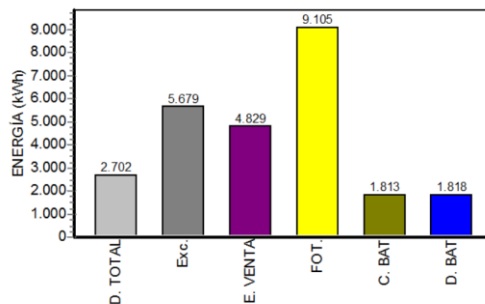
Vida de las baterías: 12,93 años

E. Eléctrica Vendida a Red AC: 4829 kWh/año

E. Eléctrica Comprada a Red AC: 0 kWh/año

Emissiones totales de CO2: 312 kg CO2/año; Emisiones solo del generador AC(debidas al consumo de 0 litro/año): 0 kg CO2/año

H2 vendido anual: 0 kg H2/año // IDH: 0,5835. Empleos creados durante vida sistema: 0,198



Perfil de Consumo: Elevado AC

Se ha utilizado de nuevo el perfil de consumo elevado en este estudio:

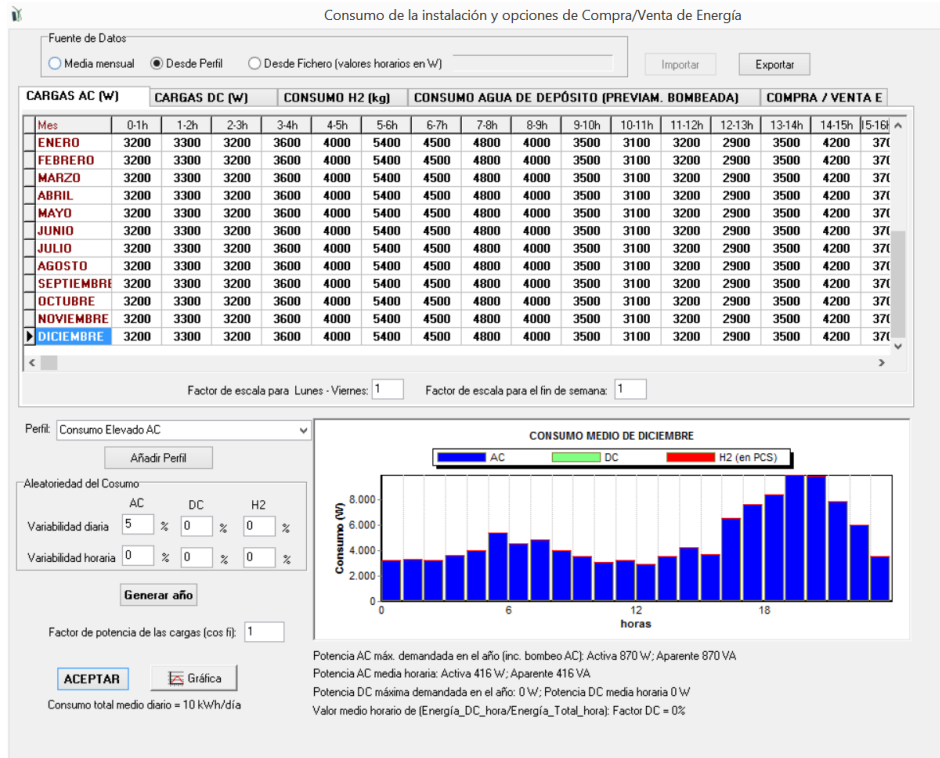
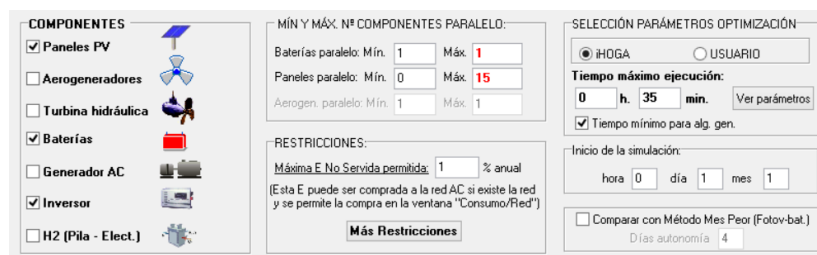


Ilustración 96. Perfil de la demanda por horas y meses del perfil consumo elevado

El número de paneles que nos muestra el predimensionamiento sube hasta 15:



COMPONENTES

- ☒ Paneles PV
- ☐ Aerogeneradores
- ☐ Turbina hidráulica
- ☒ Baterías
- ☐ Generador AC
- ☒ Inversor
- ☐ H2 (Pila - Elect.)

MÍN Y MÁX. Nº COMPONENTES PARALELO:

Baterías paralelo: Mín. 1 Máx. 1

Paneles paralelo: Mín. 0 Máx. 15

Aerogen. paralelo: Mín. 1 Máx. 1

RESTRICCIONES:

Máxima E No Servida permitida: 1 % anual
 (Esta E puede ser comprada a la red AC si existe la red y se permite la compra en la ventana "Consumo/Red")

Más Restricciones

SELECCIÓN PARÁMETROS OPTIMIZACIÓN

☒ iHOGA ☐ USUARIO

Tiempo máximo ejecución:
 0 h, 35 min. Ver parámetros

☒ Tiempo mínimo para alg. gen.

Inicio de la simulación:
 hora 0 día 1 mes 1

☐ Comparar con Método Mes Peor (Fotov-bat.)
 Días autonomía 4

Ilustración 97. Número máximo de paneles en paralelo para satisfacer la demanda. Zona II. Perfil consumo elevado

El número de combinaciones para estudiar alcanza los 32640, y el óptimo se puede alcanzar por métodos enumerativos:

| Nº DE CASOS A EVALUAR Y TIEMPO ESPERADO: | | | | | |
|---|-------------|------------------|------------------------|-----------|-----------------|
| Velocidad de cálculo: 91,168 casos/segundo | | | | | |
| | M. ENUMER. | POB (% TODAS C.) | ALG. GEN. (% TODAS C.) | | |
| ALG. PCPAL. (COMB. COMPONENTES): | 32640 | 13520 (41,42%) | 191443 (586,53%) | | |
| | [1x32640] | | | | |
| ALG. SEC. (COMB. VARIABLES CONT.): | 1 | 3 (300%) | 41 (4100%) | | |
| | ALG. PCPAL. | ALG. SEC. | CASOS A EVALUAR | % | TIEMPO ESPERADO |
| OPCIÓN 1: | M. ENUM. | M. ENUM. | 32640 | 100 % | 0h 5' 58" |
| OPCIÓN 2: | M. ENUM. | ALG. GEN. | 1338240 | 4100 % | 4h 4' |
| OPCIÓN 3: | ALG. GEN. | M. ENUM. | 191443 | 586,5 % | 0h 34' 59" |
| OPCIÓN 4: | ALG. GEN. | ALG. GEN. | 7849163 | 24047,7 % | 23h 54' |
| Optimización mediante el método enumerativo. Se garantiza obtener el óptimo | | | | | |

Ilustración 98. Casos de estudio para zona II y perfil consumo elevado

Tras el cálculo, se obtiene una combinación óptima de valor: 18105€, con una emisión de 379 kg de C2O por año. El coste por kWh, alcanza los 0,20€.

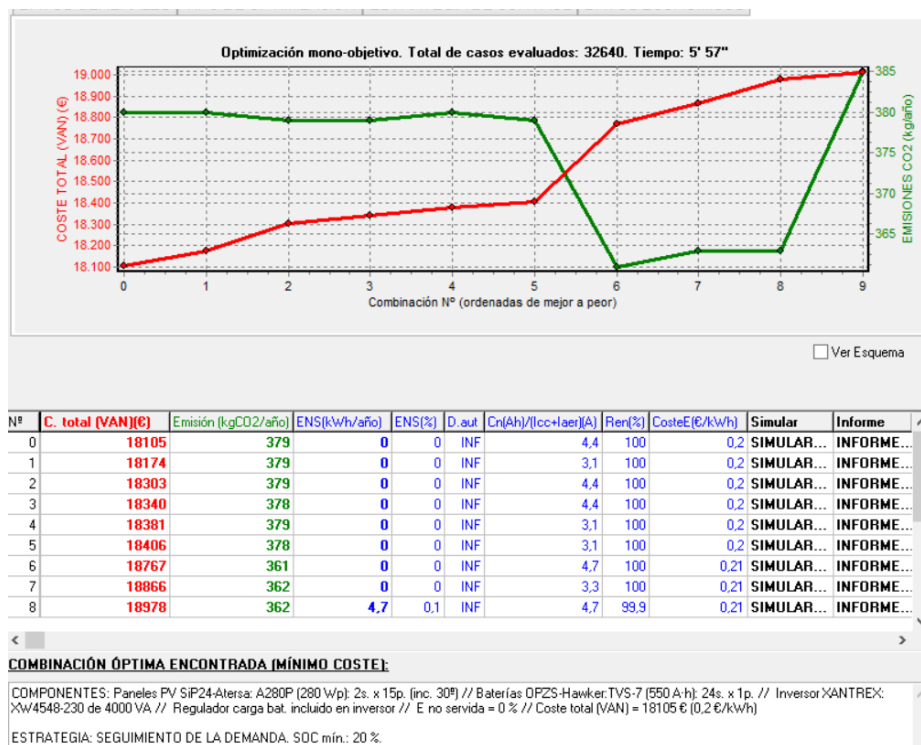


Ilustración 99. Resumen de las mejores combinaciones encontradas para el estudio de la zona II, perfil de consumo elevado

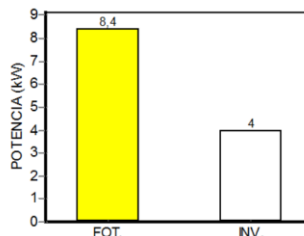
El informe completo sobre la solución encontrada, está a continuación:

Proyecto: 2 ELE AC.hoga. Config. nº 0

Tensión DC: 48 V. Tensión AC: 230 V

COMPONENTES

Paneles PV SiP24-Atersa: A280P (280 Wp): 2 serie x 15 par. Ptotal = 8,4 kWp, 30° inc.
 Baterías OPZS-Hawker: TVS-7 (Cn=550 A·h): 24 s. x 1 p. E total = 26,4 kWh (1,8 d.aut)
 Sin Aerogeneradores
 Sin Turbina Hid.
 Sin Generador AC
 Sin Pila Comb.
 Sin Electrolizador
 Inversor XANTREX: XW4548-230, pot. nominal 4000 VA
 Regulador carga bat. incluido en inversor //
 Sin Rectificador-cargador baterías



ESTRATEGIA DE CONTROL:

SEGUIMIENTO DE LA DEMANDA. SOC min. baterías = 20 %

SI LA POTENCIA PRODUCIDA POR LAS FUENTES RENOVABLES ES SUPERIOR AL CONSUMO: CARGA

Se cargan las Baterías con la potencia sobrante

SI LA POTENCIA PRODUCIDA POR LAS FUENTES RENOVABLES ES INFERIOR AL CONSUMO: DESCARGA

Toda la potencia que falta deben suministrarla las baterías. Si no pueden, como no tienen apoyo, la energía que falte será Energía No Suministrada.

No existe Generador AC

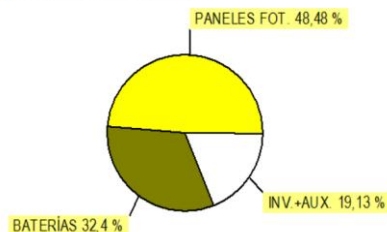
Coste Total del sistema (VAN): 18105 €. Coste actualizado de la energía suministrada: 0,2 €/kWh

Coste Grupo Fotovoltaico (VAN): 13344 €

Coste Banco Baterías (VAN): 8918 €

Coste Inversor (VAN): 5265 €

Compra/Venta E. Gastos: Compra E. Ect(VAN): 2581 €. Ingresos: Venta E.Ect. (VAN): -14937 €. Venta H2 (VAN): 0 €.



BALANCE DE ENERGÍAS DEL SISTEMA A LO LARGO DE 1 AÑO:

Energía Total Demandada: 3650 kWh/año. Cubierta por ren.100%

Energía No Servida: 0 kWh/año (0 % de la demandada)

Energía producida en Exceso: 6067 kWh/año

Energía generada por los Paneles Fotov.: 10506 kWh/año

Energía generada por los Aerogeneradores: 0 kWh/año

Energía generada por la Turbina Hid.: 0 kWh/año

Energía generada por el Generador AC: 0 kWh/año

Horas de funcionamiento del Generador AC: 0 h/año

Energía generada por la Pila de Combustible: 0 kWh/año

Horas de funcionamiento de la Pila de Comb.: 0 h/año

Energía consumida por el Electrolizador: 0 kWh/año

Horas de funcionamiento del Electrolizador: 0 h/año

Energía cargada en las baterías: 2513 kWh/año

Energía descargada desde las baterías: 2518 kWh/año

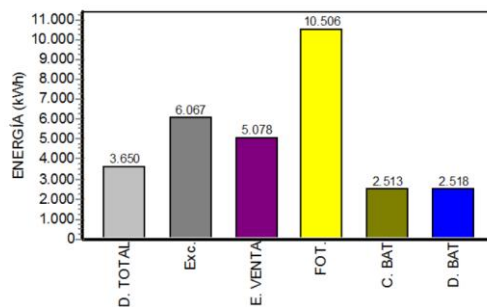
Vida de las baterías: 13,1 años

E. Eléctrica Vendida a Red AC: 5078 kWh/año

E. Eléctrica Comprada a Red AC: 0 kWh/año

Emissiones totales de CO2: 379 kg CO2/año; Emissiones solo del generador AC(debidas al consumo de 0 litro/año): 0 kg CO2/año

H2 vendido anual: 0 kg H2/año // IDH: 0,6129. Empleos creados durante vida sistema: 0,2285



La generación de energía fotovoltaica es bastante elevada, en comparación al consumo.

Ello se debe al número elevado de paneles que incluye el sistema, y que responden a la necesidad de almacenar suficiente energía para 4 días de autonomía.

Perfil de Consumo: Oficina AC

Por último se ha estudiado el perfil para consumo en una oficina:

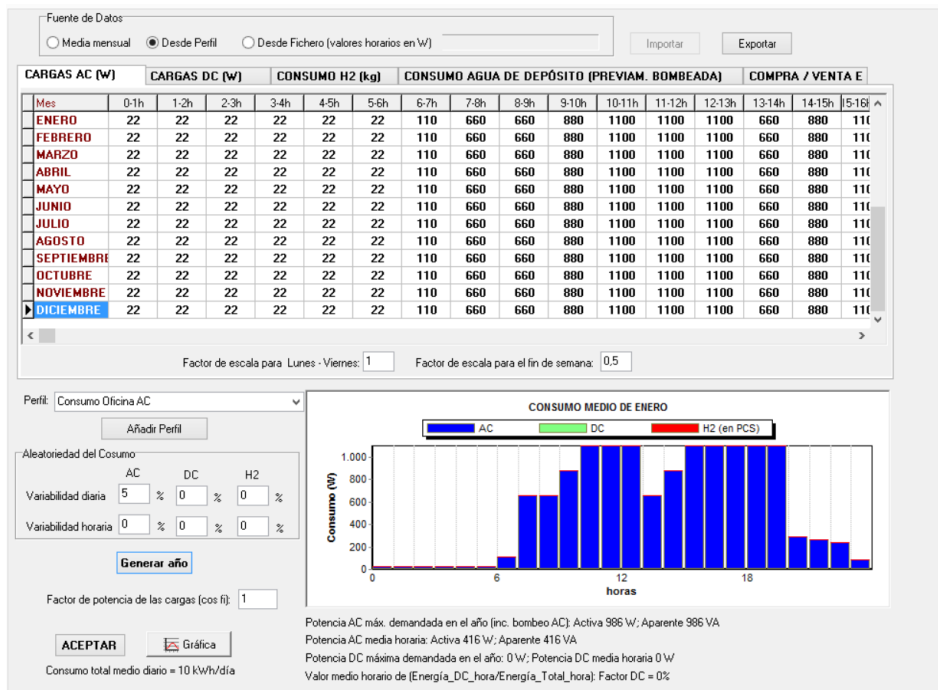
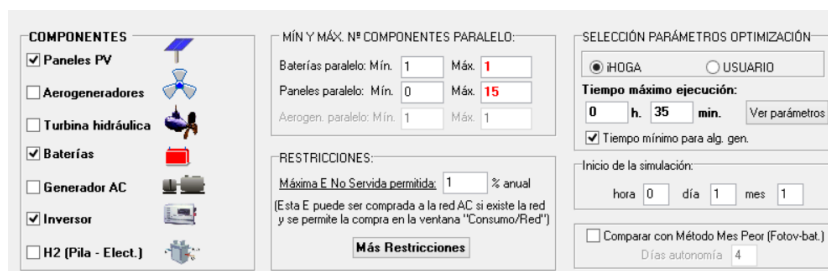


Ilustración 100. Perfil de la demanda por horas y meses del perfil consumo en oficina

El cálculo de la energía global que vamos a necesitar, nos indica que hace falta paneles, como máximo.



COMPONENTES

- ☒ Paneles PV
- ☐ Aerogeneradores
- ☐ Turbina hidráulica
- ☒ Baterías
- ☐ Generador AC
- ☒ Inversor
- ☐ H2 (Pila - Elect.)

MÍN Y MÁX. Nº COMPONENTES PARALELO:

Baterías paralelo: Mín. 1 Máx. 1
 Paneles paralelo: Mín. 0 Máx. 15
 Aerogen. paralelo: Mín. 1 Máx. 1

SELECCIÓN PARÁMETROS OPTIMIZACIÓN

☒ IHOGA ☐ USUARIO

Tiempo máximo ejecución: 0 h. 35 min. Ver parámetros

☒ Tiempo mínimo para alg. gen.

Inicio de la simulación:
 hora 0 día 1 mes 1

☐ Comparar con Método Mes Peor (Fotov-bat.)
 Días autonomía 4

RESTRICCIONES:
 Máxima E No Servida permitida: 1 % anual
 (Esta E puede ser comprada a la red AC si existe la red y se permite la compra en la ventana "Consumo/Red")
Más Restricciones

Ilustración 101. Número máximo de paneles en paralelo para satisfacer la demanda. Zona II. Perfil consumo en oficina

Con estas condiciones, se han estudiado 32640 casos, llegándose al óptimo con algoritmos numéricos:

| Nº DE CASOS A EVALUAR Y TIEMPO ESPERADO: | | | | | |
|---|-------------|------------------|------------------------|-----------|-----------------|
| Velocidad de cálculo: 100,629 casos/segundo | | | | | |
| | M. ENUMER. | POB (% TODAS C.) | ALG. GEN. (% TODAS C.) | | |
| ALG. PCPAL. (COMB. COMPONENTES): | 32640 | 14923 (45,72%) | 211310 (647,4%) | | |
| | (1x32640) | | | | |
| ALG. SEC. (COMB. VARIABLES CONT.): | 1 | 3 (300%) | 41 (4100%) | | |
| | ALG. PCPAL. | ALG. SEC. | CASOS A EVALUAR | % | TIEMPO ESPERADO |
| OPCIÓN 1: | M. ENUM. | M. ENUM. | 32640 | 100 % | 0h 5' 24" |
| OPCIÓN 2: | M. ENUM. | ALG. GEN. | 1338240 | 4100 % | 3h 41' |
| OPCIÓN 3: | ALG. GEN. | M. ENUM. | 211310 | 647,4 % | 0h 34' 59" |
| OPCIÓN 4: | ALG. GEN. | ALG. GEN. | 8663710 | 26543,2 % | 23h 54' |
| Optimización mediante el método enumerativo. Se garantiza obtener el óptimo | | | | | |

Ilustración 102. Casos de estudio para zona II y perfil consumo en oficina

El resultado es un sistema óptimo de coste 18389 € y una emisión de 349 kg de CO₂ anuales. El valor del kWh permanece en 0,20€.

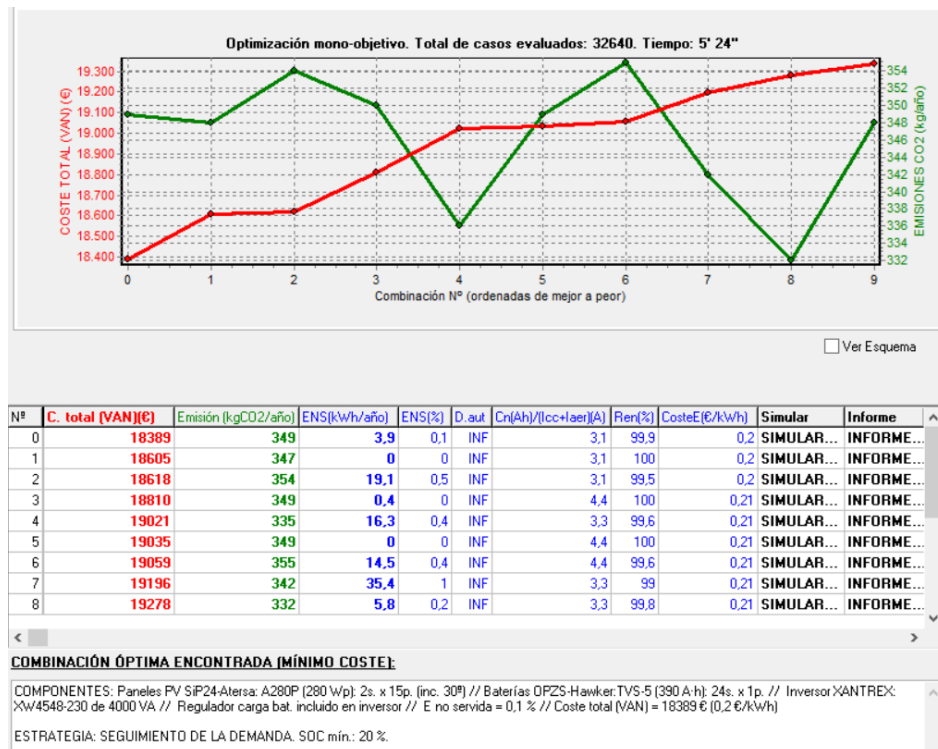


Ilustración 103. Resumen de las mejores combinaciones encontradas para el estudio de la zona II, perfil C. oficina

El informe para el sistema óptimo es el siguiente:

Proyecto: 2 OFI AC.hoga. Config. nº 0

Tensión DC: 48 V. Tensión AC: 230 V

COMPONENTES

Paneles PV SiP24-Atersa: A280P (280 Wp): 2 serie x 15 par. Ptotal = 8,4 kWp, 30° inc.
Baterías OPZS-Hawker: TVS-5 (Cn=390 A·h): 24 s. x 1 p. Etotal = 18,7 kWh (1,3 d.aut)
Sin Aerogeneradores
Sin Turbina Hid.
Sin Generador AC
Sin Pila Comb.
Sin Electrolizador
Inversor XANTREX: XW4548-230, pot. nominal 4000 VA
Regulador carga bat. incluido en inversor //
Sin Rectificador-cargador baterías

ESTRATEGIA DE CONTROL:

SEGUIMIENTO DE LA DEMANDA. SOC mín. baterías = 20 %

SI LA POTENCIA PRODUCIDA POR LAS FUENTES RENOVABLES ES SUPERIOR AL CONSUMO: CARGA

Se cargan las Baterías con la potencia sobrante

SI LA POTENCIA PRODUCIDA POR LAS FUENTES RENOVABLES ES INFERIOR AL CONSUMO: DESCARGA

Toda la potencia que falta deben suministrarla las baterías. Si no pueden, como no tienen apoyo, la energía que falte será Energía No Suministrada.

No existe Generador AC

Coste inicial de la inversión: 17495 €. Préstamo del 80 %, cuota anual: 1992,7 €. Coste combust. gen. AC 1º año: 0 €

COSTES PERIODO ESTUDIO (25 años) (VAN): (frente a caso de solo RED AC, 3650kWh/año, C.total (VAN) de 14308 €)

Coste Total del sistema (VAN): 18389 €. Coste actualizado de la energía suministrada: 0,2 €/kWh

Coste Grupo Fotovoltaico (VAN): 13344 €

Coste Banco Baterías (VAN): 7483 €

Coste Inversor (VAN): 5265 €

Compra/Venta E. Gastos: Compra E. Elect(VAN): 3001 €. Ingresos: Venta E. Elect. (VAN): -13488 €. Venta H2 (VAN): 0 €.

BALANCE DE ENERGÍAS DEL SISTEMA A LO LARGO DE 1 AÑO:

Energía Total Demandada: 3650 kWh/año. Cubierta por ren.99,9%

Energía No Servida: 3,9 kWh/año (0,11 % de la demandada)

Energía producida en Exceso: 5499 kWh/año

Energía generada por los Paneles Fotov.: 10506 kWh/año

Energía generada por los Aerogeneradores: 0 kWh/año

Energía generada por la Turbina Hid.: 0 kWh/año

Energía generada por el Generador AC: 0 kWh/año

Horas de funcionamiento del Generador AC: 0 h/año

Energía generada por la Pila de Combustible: 0 kWh/año

Horas de funcionamiento de la Pila de Comb.: 0 h/año

Energía consumida por el Electrolizador: 0 kWh/año

Horas de funcionamiento del Electrolizador: 0 h/año

Energía cargada en las baterías: 1784 kWh/año

Energía descargada desde las baterías: 1792 kWh/año

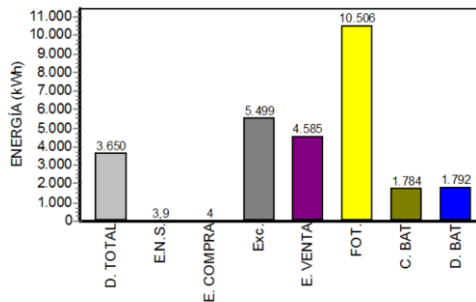
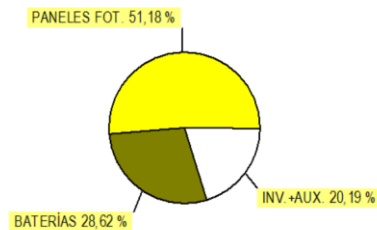
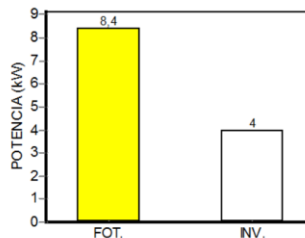
Vida de las baterías: 13,08 años

E. Eléctrica Vendida a Red AC: 4585 kWh/año

E. Eléctrica Comprada a Red AC: 4 kWh/año

Emissiones totales de CO2 : 349 kg CO2/año; Emisiones solo del generador AC(debidas al consumo de 0 litro/año): 0 kg CO2/año

H2 vendido anual : 0 kg H2/año //// IDH: 0,6129. Empleos creados durante vida sistema: 0,2285



4.4.3 ZONA DE RADIACIÓN 3. GIRONA

| Zona de radiación | Localidad | Latitud | Longitud |
|-------------------|-----------|----------|----------|
| III | Girona | 41,98788 | 2,82136 |

Para la tercera zona estudiada, en el caso de Girona, tenemos los siguientes valores de irradiación media mensual, que traducidos a diario, y a horario por el método de Collares-Pereira y Rabl, nos da la información de radiación necesaria para el estudio.

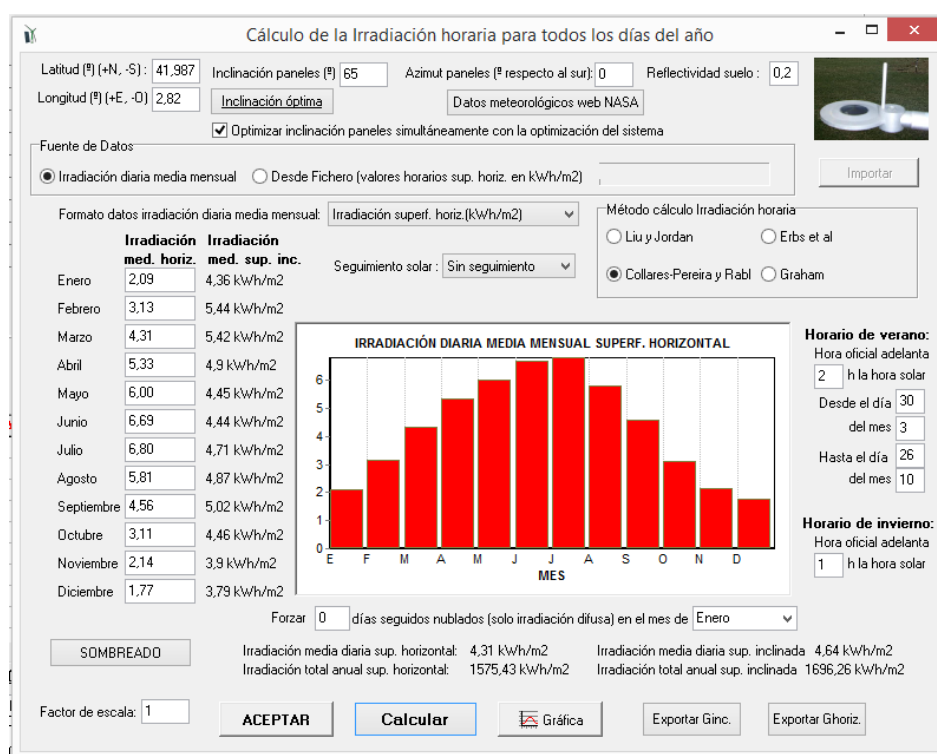


Ilustración 104. Radiación horaria y diaria, por meses, para la localidad de la zona III.

Los resultados de los estudios de los tres perfiles, están a continuación:

Perfil de Consumo: Consumo Residencial Convencional AC

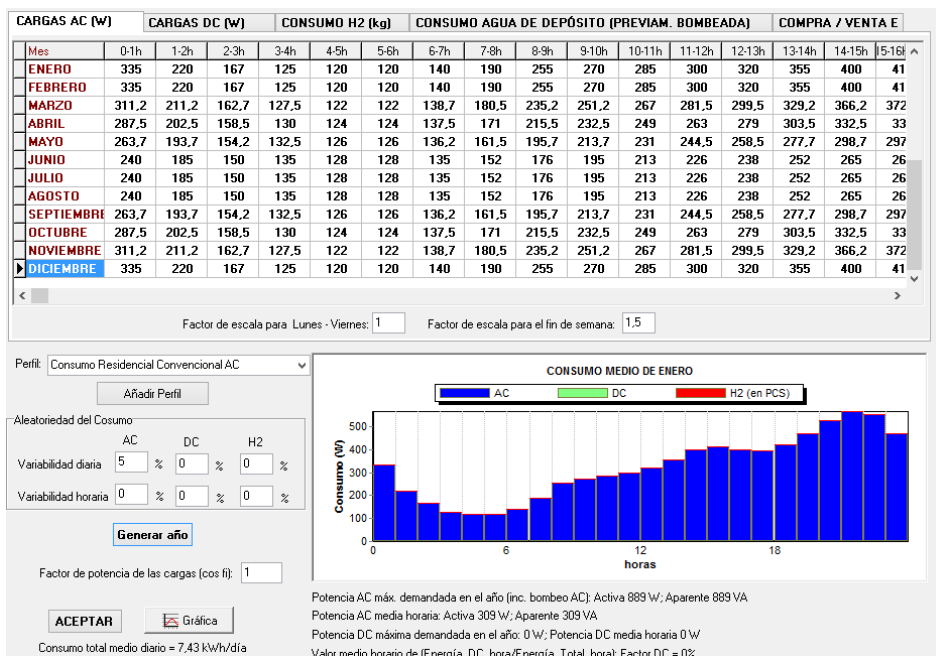


Ilustración 105. Perfil de la demanda por horas y meses del perfil consumo residencial.

El estudio de dimensionamiento, indica que el máximo de paneles necesarios para atender el consumo, es de 8, en este caso.

COMPONENTES

☒ Paneles PV

☐ Aerogeneradores

☐ Turbina hidráulica

☒ Baterías

☐ Generador AC

☒ Inversor

☐ H2 (Pila - Elect.)

MÍN Y MÁX. Nº COMPONENTES PARALELO:

Baterías paralelo: Mín. 1 Máx. 1

Paneles paralelo: Mín. 0 Máx. 8

Aerogen. paralelo: Mín. 1 Máx. 1

RESTRICCIONES:

Máxima E No Servida permitida: 1 % anual
(Esta E puede ser comprada a la red AC si existe la red y se permite la compra en la ventana "Consumo/Red")

Más Restricciones

SELECCIÓN PARÁMETROS OPTIMIZACIÓN

☒ IHOGA ☐ USUARIO

Tiempo máximo ejecución: 0 h. 35 min. Ver parámetros

☒ Tiempo mínimo para alg. gen.

Inicio de la simulación:

hora 0 día 1 mes 1

☐ Comparar con Método Mes Peor (Fotov-bat.)

Días autonomía: 4

Ilustración 106. Número máximo de paneles en paralelo para satisfacer la demanda. Zona III. Perfil consumo doméstico.

Con estas premisas, el número de casos a evaluar es de 32640:

CAPÍTULO 4. SIMULACIONES AUTOCONSUMO

| Nº DE CASOS A EVALUAR Y TIEMPO ESPERADO: | | | | | |
|--|-------------|------------------|------------------------|-----------|-----------------|
| Velocidad de cálculo: (estimada 60 casos/seg.). Para conocerla pulsar CALCULAR y tras unos seg. CANCELAR | | | | | |
| | M. ENUMER. | POB (% TODAS C.) | ALG. GEN. (% TODAS C.) | | |
| ALG. PCPAL. (COMB. COMPONENTES): | 32640 | 8898 (27,26%) | 125996 (386,02%) | | |
| | (1x32640) | | | | |
| ALG. SEC. (COMB. VARIABLES CONT.): | 1 | 3 (300%) | 41 (4100%) | | |
| | | | | | |
| | ALG. PCPAL. | ALG. SEC. | CASOS A EVALUAR | % | TIEMPO ESPERADO |
| OPCIÓN 1: | M. ENUM. | M. ENUM. | 32640 | 100 % | 0h 9' 4" |
| OPCIÓN 2: | M. ENUM. | ALG. GEN. | 1338240 | 4100 % | 6h 11' |
| OPCIÓN 3: | ALG. GEN. | M. ENUM. | 125996 | 386 % | 0h 34' 59" |
| OPCIÓN 4: | ALG. GEN. | ALG. GEN. | 5165836 | 15826,7 % | 23h 54' |
| Optimización mediante el método enumerativo. Se garantiza obtener el óptimo | | | | | |

Ilustración 107. Casos de estudio para zona III y perfil consumo residencial.

La herramienta es capaz de encontrar la combinación óptima que satisfaga las necesidades de consumo, con la generación que provee esta zona:

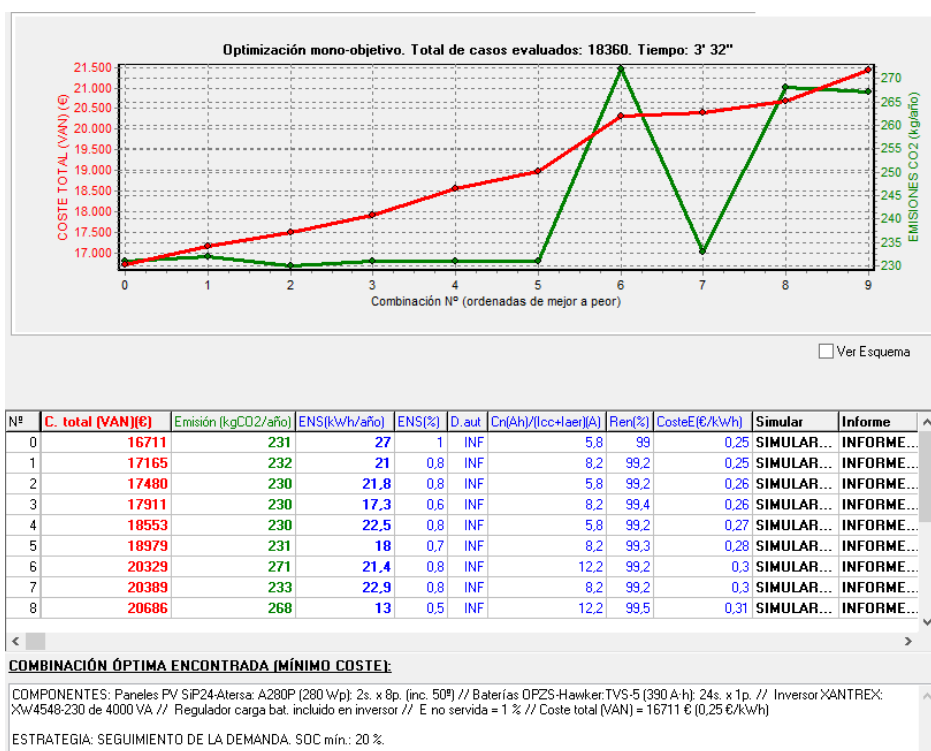


Ilustración 108. Resumen de las mejores combinaciones encontradas para el estudio de la zona III, perfil de consumo residencial.

La combinación óptima, incluye 8 paneles PV SiP24-Atersa A280P, con potencia de pico de 280Wp, 1 batería OPZS Wawker TVS-5 (390Ah) y el inversor de 4000VA, XANTREX XW 4548-230.

El lado negativo es que hay energía no servida, y por tanto, comprada a la Red.

El coste total asciende a 16711 €, y tenemos un valor de 25 céntimos de euro, para cada Kwh consumido.

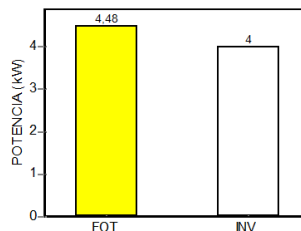
Toda la información detallada del sistema, se encuentra en el siguiente informe:

Proyecto: 3 RE AC.hoga. Config. n° 0

Tensión DC: 48 V. Tensión AC: 230 V

COMPONENTES

Paneles PV SIP24-Atersa: A280P (280 Wp): 2 serie x 8 par. P total = 4,48 kWp, 50° inc.
Baterías OPZS-Hawker: TVS-5 (Cn=390 A·h): 24 s. x 1 p. E total = 18,7 kWh (1,7 d. aut)
Sin Aerogeneradores
Sin Turbina Hid.
Sin Generador AC
Sin Pila Comb.
Sin Electrolizador
Inversor XANTREX: XW4548-230, pot. nominal 4000 VA
Regulador carga bat. incluido en inversor //
Sin Rectificador-cargador baterías



ESTRATEGIA DE CONTROL:

SEGUIMIENTO DE LA DEMANDA. SOC mín. baterías = 20 %

SILA POTENCIA PRODUCIDA POR LAS FUENTES RENOVABLES ES SUPERIOR AL CONSUMO: CARGA

Se cargan las Baterías con la potencia sobrante

SILA POTENCIA PRODUCIDA POR LAS FUENTES RENOVABLES ES INFERIOR AL CONSUMO: DESCARGA

Toda la potencia que falta deben suministrarla las baterías. Si no pueden, como no tienen apoyo o, la energía que falte será Energía No Suministrada.

No existe Generador AC

Coste inicial de la inversión: 12497 €. Préstamo del 80 %, cuota anual: 1423,4 €. Coste combust. gen. AC 1º año: 0 €

COSTES PERIODO ESTUDIO (25 años) (VAN): (frente a caso de solo RED AC, 2706kWh/año, C.total (VAN) de 11890 €)

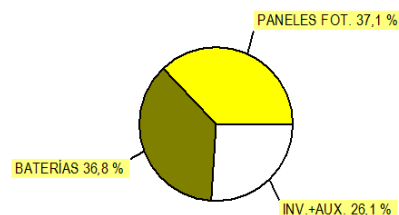
Coste Total del sistema (VAN): 16711 €. Coste actualizado de la energía suministrada: 0,25 €/kWh

Coste Grupo Fotovoltaico (VAN): 7483 €

Coste Banco Baterías (VAN): 7424 €

Coste Inversor (VAN): 5265 €

Compra/Venta E. Gastos: Compra E. Ect(VAN): 2150 €. Ingresos: Venta E Ect. (VAN): -7697 €. Venta H2 (VAN): 0 €.



BALANCE DE ENERGÍAS DEL SISTEMA A LO LARGO DE 1 AÑO:

Energía Total Demandada: 2705 kWh/año. Cubierta por ren.99%

Energía No Servida: 27 kWh/año (1 % de la demandada)

Energía producida en Exceso: 2990 kWh/año

Energía generada por los Paneles Fotov.: 6383 kWh/año

Energía generada por los Aerogeneradores: 0 kWh/año

Energía generada por la Turbina Hid.: 0 kWh/año

Energía generada por el Generador AC: 0 kWh/año

Horas de funcionamiento del Generador AC: 0 h/año

Energía generada por la Pila de Combustible: 0 kWh/año

Horas de funcionamiento de la Pila de Comb.: 0 h/año

Energía consumida por el Electrolizador: 0 kWh/año

Horas de funcionamiento del Electrolizador: 0 h/año

Energía cargada en las baterías: 1793 kWh/año

Energía descargada desde las baterías: 1807 kWh/año

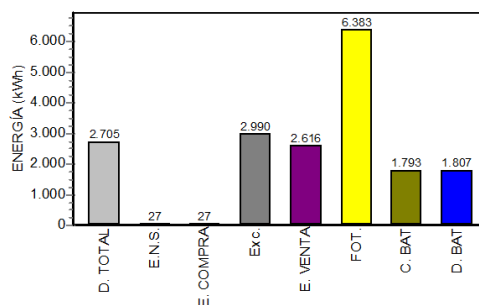
Vida de las baterías: 13,39 años

E. Eléctrica Vendida a Red AC: 2616 kWh/año

E. Eléctrica Comprada a Red AC: 27 kWh/año

Emissiones totales de CO2 : 231 kg CO2/año; Emisiones solo del generador AC(debidas al consumo de 0 litro/año): 0 kg CO2/año

H2 vendido anual : 0 kg H2/año //IDH: 0,5836. Empleos creados durante vida sistema: 0,1389



Perfil de Consumo: Elevado AC

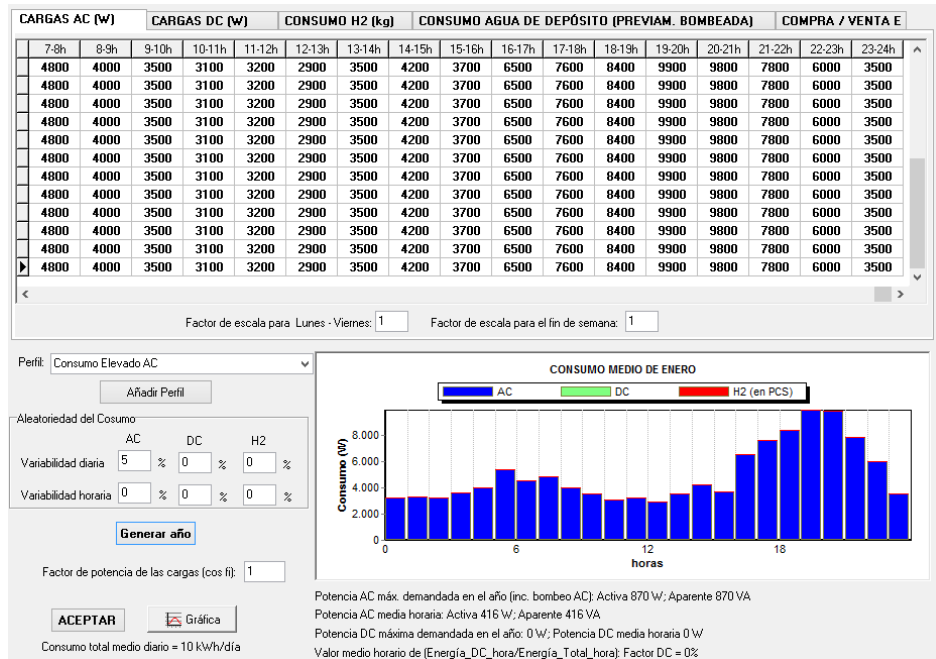





Ilustración 109. Perfil de la demanda por horas y meses del perfil consumo elevado


El predimensionamiento nos da un valor de 9 paneles como máximo:


COMPONENTES


☒ Paneles PV 


☐ Aerogeneradores 

☐ Turbina hidráulica 

☒ Baterías 

☐ Generador AC 

☒ Inversor 

☐ H2 (Pila - Elect.) 

MÍN Y MÁX. N° COMPONENTES PARALELO:

Baterías paralelo: Mín. Máx.

Paneles paralelo: Mín. Máx.

Aerogen. paralelo: Mín. Máx.

RESTRICCIONES:

Máxima E No Servida permitida: % anual

(Esta E puede ser comprada a la red AC si existe la red y se permite la compra en la ventana "Consumo/Red")

Más Restricciones

SELECCIÓN PARÁMETROS OPTIMIZACIÓN

☒ HOGA ☐ USUARIO

Tiempo máximo ejecución:
 h. min. [Ver parámetros](#)

☐ Tiempo mínimo para alg. gen.

Inicio de la simulación:

hora día mes

☐ Comparar con Método Mes Peor (Fotov.bat.)

Días autonomía

Ilustración 110. Número máximo de paneles en paralelo para satisfacer la demanda. Zona III. Perfil consumo elevado

El programa calcula el caso óptimo de entre los 20400, por métodos numéricos.

| Nº DE CASOS A EVALUAR Y TIEMPO ESPERADO: | | | | | |
|--|--------------------|-------------------|------------------------|-----------------|------------|
| Velocidad de cálculo: 81.633 casos/segundo | | | | | |
| | M. ENUMER. | POB. (% TODAS C.) | ALG. GEN. (% TODAS C.) | | |
| ALG. PCPAL. (COMB. COMPONENTES): | 20400 (1x20400) | 12106 (59,34%) | 171421 (840,3%) | | |
| ALG. SEC. (COMB. VARIABLES CONT.): | 1 | 3 (300%) | 41 (4100%) | | |
| ALG. PCPAL. | ALG. SEC. | CASOS A EVALUAR | % | TIEMPO ESPERADO | |
| OPCIÓN 1: | M. ENUM. | M. ENUM. | 20400 | 100 % | 0h 4' 9" |
| OPCIÓN 2: | M. ENUM. | ALG. GEN. | 836400 | 4100 % | 2h 50' |
| OPCIÓN 3: | ALG. GEN. | M. ENUM. | 171421 | 840,3 % | 0h 34' 59" |
| OPCIÓN 4: | ALG. GEN. | ALG. GEN. | 7028261 | 34452,3 % | 23h 54' |

Optimización mediante el método enumerativo. Se garantiza obtener el óptimo

Ilustración 111. Casos de estudio para zona III y perfil consumo elevado.

La solución ideal, tiene un coste de 19979 €. Se alcanza el límite del 1% de la energía no servida, y comprada a las compañías eléctricas. El valor medio de kWh, asciende hasta los 22 céntimos de euro.

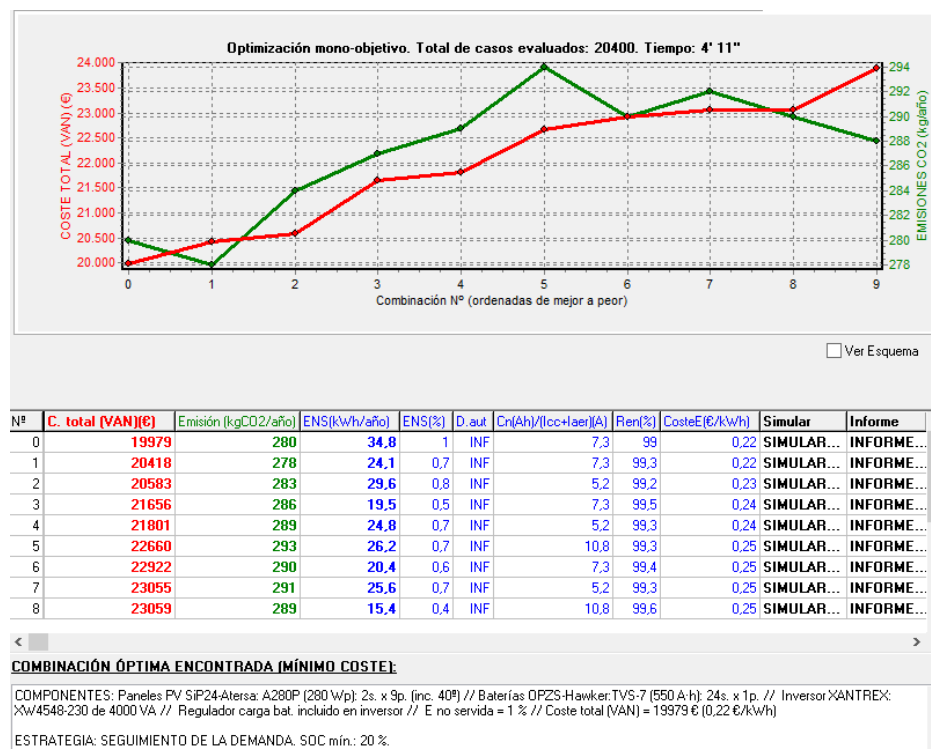


Ilustración 112. Resumen de las mejores combinaciones encontradas para el estudio de la zona III, perfil consumo elevado.

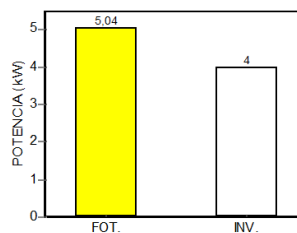
A continuación se muestra el informe total de la mejor solución para este caso:

Proyecto: 3 ELE AC.hoga. Config. nº 0

Tensión DC: 48 V. Tensión AC: 230 V

COMPONENTES

Paneles PV SIP24-Atersa: A280P (280 Wp); 2 serie x 9 par. P total = 5,04 kWp, 40° inc.
Baterías OPZS-Hawker: TVS-7 (Cn=550 A·h): 24 s. x 1 p. E total = 26,4 kWh (1,8 d.aut)
Sin Aerogeneradores
Sin Turbina Hid.
Sin Generador AC
Sin Pila Comb.
Sin Electrolizador
Inversor XANTREX: XW4548-230, pot. nominal 4000 VA
Regulador carga bat. incluido en inversor //
Sin Rectificador-cargador baterías



ESTRATEGIA DE CONTROL:

SEGUIMIENTO DE LA DEMANDA. SOC mín. baterías = 20 %

SILA POTENCIA PRODUCIDA POR LAS FUENTES RENOVABLES ES SUPERIOR AL CONSUMO: CARGA

Se cargan las Baterías con la potencia sobrante

SILA POTENCIA PRODUCIDA POR LAS FUENTES RENOVABLES ES INFERIOR AL CONSUMO: DESCARGA

Toda la potencia que falta deben suministrarla las baterías. Si no pueden, como no tienen apoyo, la energía que falte será Energía No Suministrada.

No existe Generador AC

Coste inicial de la inversión: 14119 €. Préstamo del 80 %, cuota anual: 1608,2 €. Coste combust. gen. AC 1º año: 0 €

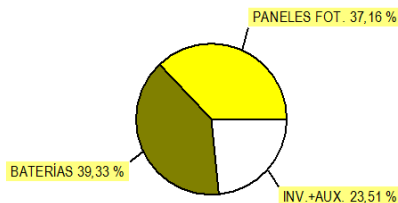
COSTES PERIODO ESTUDIO (25 años) (VAN): (frente a caso de solo RED AC, 3650 kWh/año, C. total (VAN) de 14308 €)

Coste Total del sistema (VAN): 19979 €. Coste actualizado de la energía suministrada: 0,22 €/kWh

Coste Grupo Fotovoltaico (VAN): 8320 €

Coste Banco Baterías (VAN): 8806 €

Coste Inversor (VAN): 5265 €



Compra/Venta E. Gastos: Compra E. Eect(VAN): 2785 €. Ingresos: Venta E.Eect. (VAN): -7517 €. Venta H2 (VAN): 0 €.

BALANCE DE ENERGÍAS DEL SISTEMA A LO LARGO DE 1 AÑO:

Energía Total Demandada: 3649 kWh/año. Cubierta por ren.99%

Energía No Servida: 34,8 kWh/año (0,95 % de la demandada)

Energía producida en Exceso: 2952 kWh/año

Energía generada por los Paneles Fotov.: 7350 kWh/año

Energía generada por los Aerogeneradores: 0 kWh/año

Energía generada por la Turbina Hid.: 0 kWh/año

Energía generada por el Generador AC: 0 kWh/año

Horas de funcionamiento del Generador AC: 0 h/año

Energía generada por la Pila de Combustible: 0 kWh/año

Horas de funcionamiento de la Pila de Comb.: 0 h/año

Energía consumida por el Electrolizador: 0 kWh/año

Horas de funcionamiento del Electrolizador: 0 h/año

Energía cargada en las baterías: 2538 kWh/año

Energía descargada desde las baterías: 2556 kWh/año

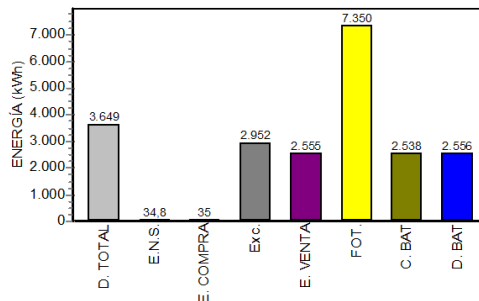
Vida de las baterías: 13,84 años

E. Eléctrica Vendida a Red AC: 2555 kWh/año

E. Eléctrica Comprada a Red AC: 35 kWh/año

Emissiones totales de CO2 : 280 kg CO2/año; Emisiones solo del generador AC(debidas al consumo de 0 litro/año): 0 kg CO2/año

H2 vendido anual : 0 kg H2/año //// IDH: 0,6129. Empleos creados durante vida sistema: 0,16



Perfil de Consumo: Oficina AC

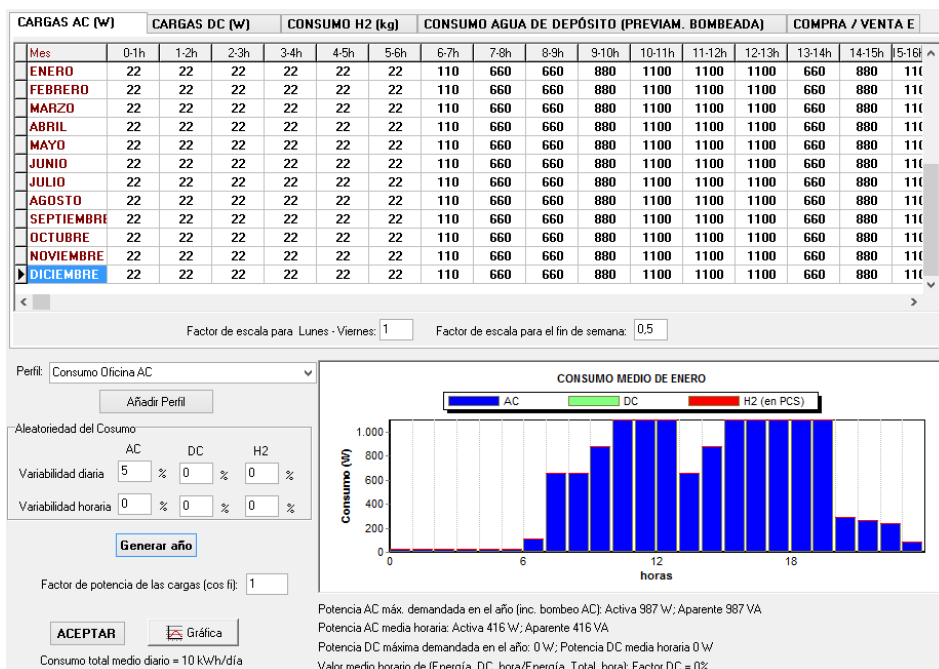


Ilustración 113. Perfil de la demanda por horas y meses del perfil consumo en oficina

El número máximo de paneles fotovoltaicos queda limitado a 9, según la demanda y el periodo de autonomía:

COMPONENTES

- ☒ Paneles PV
- ☐ Aerogeneradores
- ☐ Turbina hidráulica
- ☒ Baterías
- ☐ Generador AC
- ☒ Inversor
- ☐ H2 (Pila - Elect.)

MÍN Y MÁX. N° COMPONENTES PARALELO:

Baterías paralelo: Mín. 1 Máx. 1

Paneles paralelo: Mín. 0 Máx. 9

Aerogen. paralelo: Mín. 1 Máx. 1

RESTRICCIONES:

Máxima E No Servida permitida: 1 % anual
(Esta E puede ser comprada a la red AC si existe la red y se permite la compra en la ventana "Consumo/Red")

Más Restricciones

SELECCIÓN PARÁMETROS OPTIMIZACIÓN

☒ IHOGA ☐ USUARIO

Tiempo máximo ejecución:

0 h. 35 min. Ver parámetros

☒ Tiempo mínimo para alg. gen.

Inicio de la simulación:

hora 0 día 1 mes 1

☐ Comparar con Método Mes Peor (Fotov-bat.)

Días autonomía 4

Ilustración 114. Número máximo de paneles en paralelo para satisfacer la demanda. Zona III. Perfil consumo en oficina

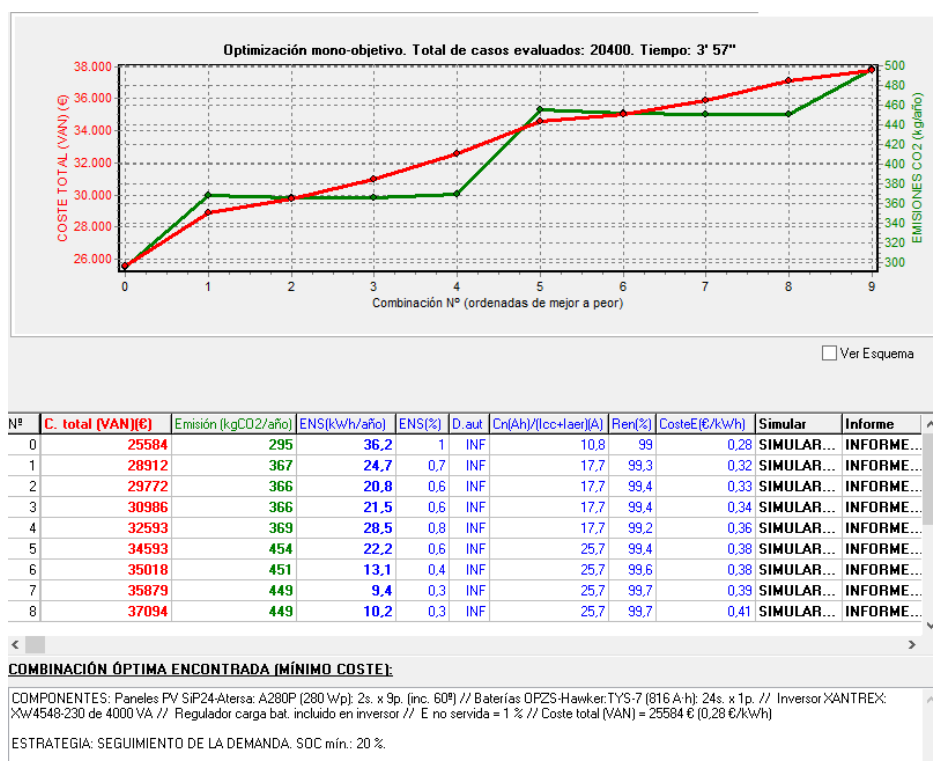
El programa ha comparado entre 20400 casos, eligiendo por el método numérico, el mejor.

CAPÍTULO 4. SIMULACIONES AUTOCONSUMO

| Nº DE CASOS A EVALUAR Y TIEMPO ESPERADO: | | | | | |
|---|------------|------------------|------------------------|-----------------|------------|
| Velocidad de cálculo: 85,837 casos/segundo | | | | | |
| | M. ENUMER. | POB (% TODAS C.) | ALG. GEN. (% TODAS C.) | | |
| ALG. PCPAL. (COMB. COMPONENTES): | 20400 | 12730 (62,4%) | 180257 (883,61%) | | |
| | (1x20400) | | | | |
| ALG. SEC. (COMB. VARIABLES CONT.): | 1 | 3 (300%) | 41 (4100%) | | |
| | | | | | |
| ALG. PCPAL. | ALG. SEC. | CASOS A EVALUAR | % | TIEMPO ESPERADO | |
| OPCIÓN 1: | M. ENUM. | M. ENUM. | 20400 | 100 % | 0h 3' 57" |
| OPCIÓN 2: | M. ENUM. | ALG. GEN. | 836400 | 4100 % | 2h 42' |
| OPCIÓN 3: | ALG. GEN. | M. ENUM. | 180257 | 883,6 % | 0h 34' 59" |
| OPCIÓN 4: | ALG. GEN. | ALG. GEN. | 7390537 | 36228,1 % | 23h 54' |
| Optimización mediante el método enumerativo. Se garantiza obtener el óptimo | | | | | |

Ilustración 115. Casos de estudio para zona III y perfil consumo en oficina.

Este caso óptimo, implica un coste de 25584€ y un valor del kWh de 0,28€.



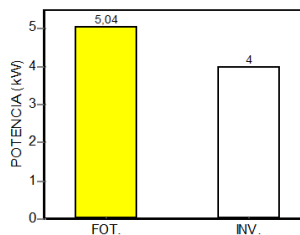
Todos los aspectos de esta solución se resumen en el siguiente informe:

Proyecto: 3 OFI AC.hoja. Config. nº 0

Tensión DC: 48 V. Tensión AC: 230 V

COMPONENTES

Paneles PV SiP24-Atersa: A280P (280 Wp): 2 serie x 9 par. P total = 5,04 kWp, 60° inc.
Baterías OPZS-Hawker.TYS-7 (Cn=816 A-h): 24 s. x 1 p. E total = 39,1 kWh (2,7 d.aut)
Sin Aerogeneradores
Sin Turbina Hid.
Sin Generador AC
Sin Pila Comb.
Sin Electrolizador
Inversor XANTREX: XW4548-230, pot. nominal 4000 VA
Regulador carga bat. incluido en inversor //
Sin Rectificador-cargador baterías



ESTRATEGIA DE CONTROL:

SEGUIMIENTO DE LA DEMANDA. SOC mín. baterías = 20 %

SI LA POTENCIA PRODUCIDA POR LAS FUENTES RENOVABLES ES SUPERIOR AL CONSUMO: CARGA

Se cargan las Baterías con la potencia sobrante

SI LA POTENCIA PRODUCIDA POR LAS FUENTES RENOVABLES ES INFERIOR AL CONSUMO: DESCARGA

Toda la potencia que falta deben suministrarla las baterías. Si no pueden, como no tienen apoyo, la energía que falte será Energía No Suministrada.

No existe Generador AC

Coste inicial de la inversión: 16469 €. Préstamo del 80 %, cuota anual: 1875,9 €. Coste combust. gen. AC 1º año: 0 €

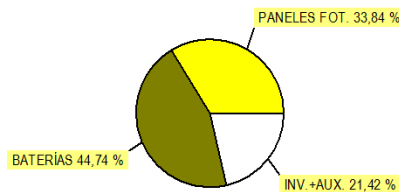
COSTES PERIODO ESTUDIO (25 años) (VAN): (frente a caso de solo RED AC, 3650kWh/año, C total (VAN) de 14308 €)

Coste Total del sistema (VAN): 25584 €. Coste actualizado de la energía suministrada: 0,28 €/kWh

Coste Grupo Fotovoltaico (VAN): 8320 €

Coste Banco Baterías (VAN): 11000 €

Coste Inversor (VAN): 5265 €



Compra/Venta E. Gastos: Compra E. Elect(VAN): 3193 €. Ingresos: Venta E.Elect. (VAN): -4850 €. Venta H2 (VAN): 0 €.

BALANCE DE ENERGÍAS DEL SISTEMA A LO LARGO DE 1 AÑO:

Energía Total Demandada: 3649 kWh/año. Cubierta por ren.99%

Energía No Servida: 36,2 kWh/año (0,99 % de la demandada)

Energía producida en Exceso: 1893 kWh/año

Energía generada por los Paneles Fotov.: 6847 kWh/año

Energía generada por los Aerogeneradores: 0 kWh/año

Energía generada por la Turbina Hid.: 0 kWh/año

Energía generada por el Generador AC: 0 kWh/año

Horas de funcionamiento del Generador AC: 0 h/año

Energía generada por la Pila de Combustible: 0 kWh/año

Horas de funcionamiento de la Pila de Comb.: 0 h/año

Energía consumida por el Electrolizador: 0 kWh/año

Horas de funcionamiento del Electrolizador: 0 h/año

Energía cargada en las baterías: 1878 kWh/año

Energía descargada desde las baterías: 1904 kWh/año

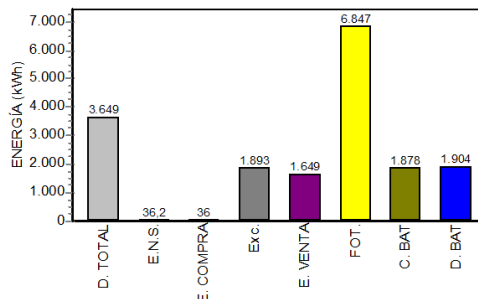
Vida de las baterías: 18 años

E. Eléctrica Vendida a Red AC: 1649 kWh/año

E. Eléctrica Comprada a Red AC: 36 kWh/año

Emissiones totales de CO2: 295 kg CO2/año; Emissiones solo del generador AC(debidas al consumo de 0 litro/año): 0 kg CO2/año

H2 vendido anual: 0 kg H2/año /// IDH: 0,6129. Empleos creados durante vida sistema: 0,149



4.4.4 ZONA DE RADIACIÓN 4. JAÉN

| Zona de radiación | Localidad | Latitud | Longitud |
|-------------------|-----------|-----------|----------|
| IV | Jaén | 37,825845 | -3,73315 |

Para este caso, el perfil de irradiación es más acusado en los meses de verano. En invierno la bajada de irradiación es notable, pero no acusada. Ello se debe a que en estas zonas hay más días sin nubes.

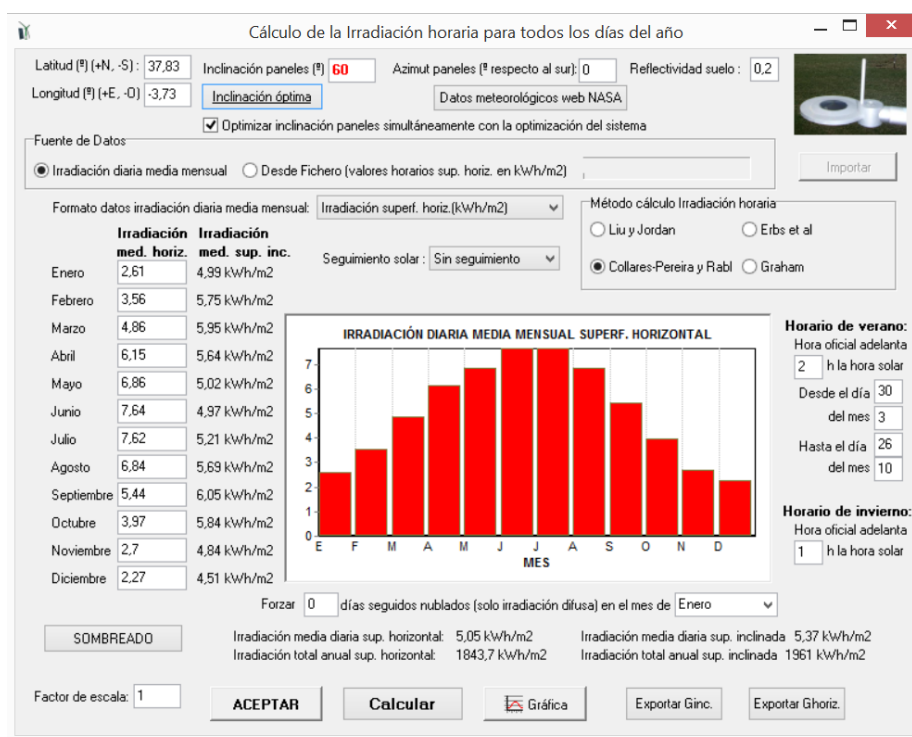


Ilustración 116. Perfil de irradiación diaria, a partir de los datos mensuales, para el caso de la zona IV.

Estudiamos los mismos perfiles de autoconsumo que en las demás zonas:

Perfil de Consumo: Consumo Residencial Convencional AC

El perfil de consumo es el mismo que en los demás casos de residencial:

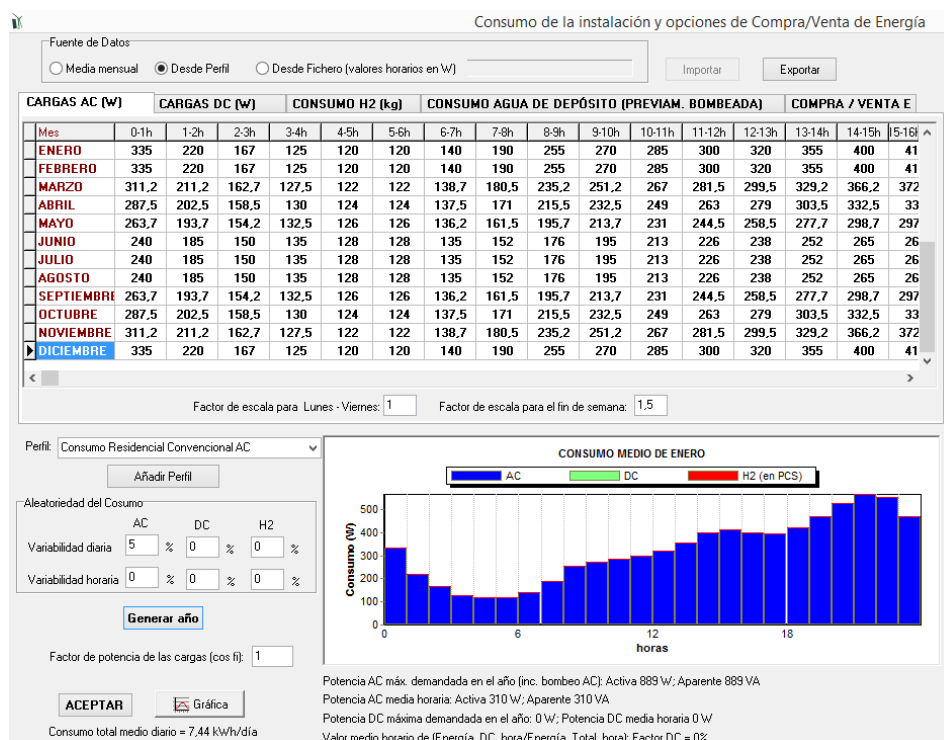


Ilustración 117. Perfil de la demanda por horas y meses del perfil consumo residencial.

Con estos datos, el número máximo de paneles FV, se limita a 7:

COMPONENTES

- ☒ Paneles PV
- ☐ Aerogeneradores
- ☐ Turbina hidráulica
- ☒ Baterías
- ☐ Generador AC
- ☒ Inversor
- ☐ H2 (Pila - Elect.)

MÍN Y MÁX. Nº COMPONENTES PARALELO:

Baterías paralelo: Mín. 1 Máx. 1

Paneles paralelo: Mín. 0 Máx. 7

Aerogen. paralelo: Mín. 1 Máx. 1

SELECCIÓN PARÁMETROS OPTIMIZACIÓN

☒ HOGA ☐ USUARIO

Tiempo máximo ejecución:

0 h. 35 min. Ver parámetros

☒ Tiempo mínimo para alg. gen.

Inicio de la simulación:

hora 0 día 1 mes 1

☐ Comparar con Método Mes Peor (Fotov-bat.)

Días autonomía: 4

RESTRICCIONES:

Máxima E No Servida permitida: 1 % anual

(Esta E puede ser comprada a la red AC si existe la red y se permite la compra en la ventana "Consumo/Red")

Más Restricciones

Ilustración 118. Número máximo de paneles en paralelo para satisfacer la demanda. Zona IV. Perfil consumo residencial.

La herramienta encuentra mediante métodos numéricos la mejor combinación, entre 32640 casos:

| Nº DE CASOS A EVALUAR Y TIEMPO ESPERADO: | | | | | |
|---|-------------|------------------|------------------------|---------|-----------------|
| Velocidad de cálculo: 82.902 casos/segundo | | | | | |
| | M. ENUMER. | POB (% TODAS C.) | ALG. GEN. (% TODAS C.) | | |
| ALG. PCPAL. (COMB. COMPONENTES): | 32640 | 12294 (37,67%) | 174083 (533,34%) | | |
| | (1x32640) | | | | |
| ALG. SEC. (COMB. VARIABLES CONT.): | 1 | 3 (300%) | 41 (4100%) | | |
| | ALG. PCPAL. | ALG. SEC. | CASOS A EVALUAR | % | TIEMPO ESPERADO |
| OPCIÓN 1: | M. ENUM. | M. ENUM. | 32640 | 100 % | 0h 6' 33" |
| OPCIÓN 2: | M. ENUM. | ALG. GEN. | 1338240 | 4100 % | 4h 29' |
| OPCIÓN 3: | ALG. GEN. | M. ENUM. | 174083 | 533,3 % | 0h 34' 59" |
| OPCIÓN 4: | ALG. GEN. | ALG. GEN. | 7137403 | 21867 % | 23h 54' |
| Optimización mediante el método enumerativo. Se garantiza obtener el óptimo | | | | | |

Ilustración 119. Casos de estudio para zona IV y perfil consumo residencial.

La mejor combinación tiene un coste de 15471 €, y un valor de kWh de 23 céntimos de euro.

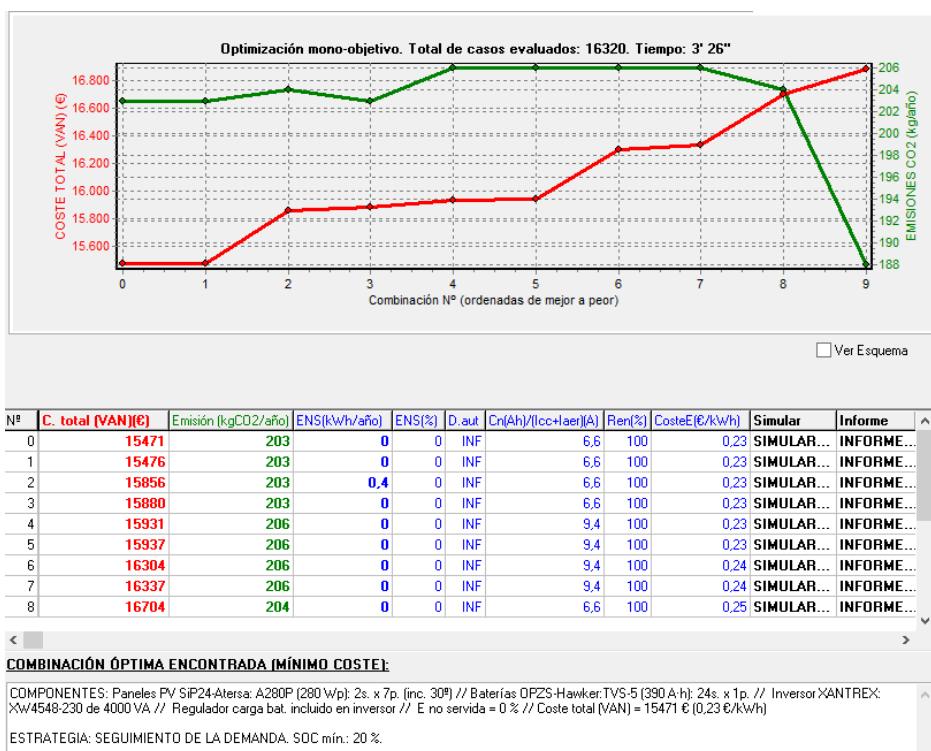


Ilustración 120. Resumen de las mejores combinaciones encontradas para el estudio de la zona IV, perfil residencial

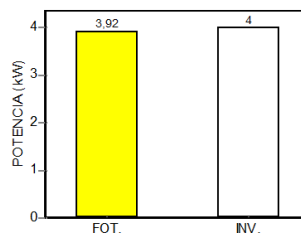
El informe completo aparece a continuación:

Proyecto: 4 RE AC.hoga. Config. nº 0

Tensión DC: 48 V. Tensión AC: 230 V

COMPONENTES

Paneles PV SiP24-Atersa: A280P (280 Wp): 2 serie x 7 par. Ptotal = 3,92 kWp, 30° inc.
Baterías OPZS-Hawker: TVS-5 (Cn=390 A·h): 24 s. x 1 p. E total = 18,7 kWh (1,7 d.aut)
Sin Aerogeneradores
Sin Turbina Hid.
Sin Generador AC
Sin Pila Comb.
Sin Electrolizador
Inversor XANTREX: XW4548-230, pot. nominal 4000 VA
Regulador carga bat. incluido en inversor //
Sin Rectificador-cargador baterías



ESTRATEGIA DE CONTROL:

SEGUIMIENTO DE LA DEMANDA. SOC mín. baterías = 20 %

SILA POTENCIA PRODUCIDA POR LAS FUENTES RENOVABLES ES SUPERIOR AL CONSUMO: CARGA

Se cargan las Baterías con la potencia sobrante

SILA POTENCIA PRODUCIDA POR LAS FUENTES RENOVABLES ES INFERIOR AL CONSUMO: DESCARGA

Toda la potencia que falta deben suministrarla las baterías. Si no pueden, como no tienen apoyo, la energía que falte será Energía No Suministrada.

No existe Generador AC

Coste inicial de la inversión: 11783 €. Préstamo del 80 %, cuota anual: 1342,1 €. Coste combust. gen. AC 1º año: 0 €

COSTES PERIODO ESTUDIO (25 años) (VAN): (frente a caso de solo RED AC, 2717kWh/año, C.total (VAN) de 11917 €)

Coste Total del sistema (VAN): 15471 €. Coste actualizado de la energía suministrada: 0,23 €/kWh

Coste Grupo Fotovoltaico (VAN): 6646 €

Coste Banco Baterías (VAN): 7444 €

Coste Inversor (VAN): 5265 €

Compra/Venta E. Gastos: Compra E. Elect.(VAN): 1999 €. Ingresos: Venta E. Elect. (VAN): -7866 €. Venta H2 (VAN): 0 €.

BALANCE DE ENERGÍAS DEL SISTEMA A LO LARGO DE 1 AÑO:

Energía Total Demandada: 2716 kWh/año. Cubierta por ren.100%

Energía No Servida: 0 kWh/año (0 % de la demandada)

Energía producida en Exceso: 3047 kWh/año

Energía generada por los Paneles Fotov.: 6490 kWh/año

Energía generada por los Aerogeneradores: 0 kWh/año

Energía generada por la Turbina Hid.: 0 kWh/año

Energía generada por el Generador AC: 0 kWh/año

Horas de funcionamiento del Generador AC: 0 h/año

Energía generada por la Pila de Combustible: 0 kWh/año

Horas de funcionamiento de la Pila de Comb.: 0 h/año

Energía consumida por el Electrolizador: 0 kWh/año

Horas de funcionamiento del Electrolizador: 0 h/año

Energía cargada en las baterías: 1816 kWh/año

Energía des cargada desde las baterías: 1821 kWh/año

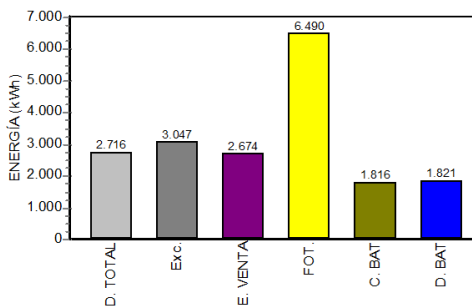
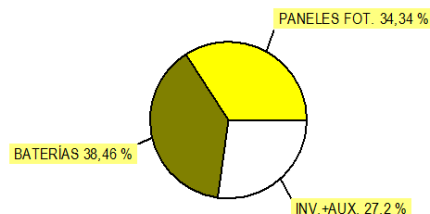
Vida de las baterías: 13,23 años

E. Eléctrica Vendida a Red AC: 2674 kWh/año

E. Eléctrica Comprada a Red AC: 0 kWh/año

Emissiones totales de CO2: 203 kg CO2/año; Emissiones solo del generador AC(debidas al consumo de 0 litro/año): 0 kg CO2/año

H2 vendido anual: 0 kg H2/año // // IDH: 0,584. Empleos creados durante vida sistema: 0,1412



Perfil de Consumo: Elevado AC

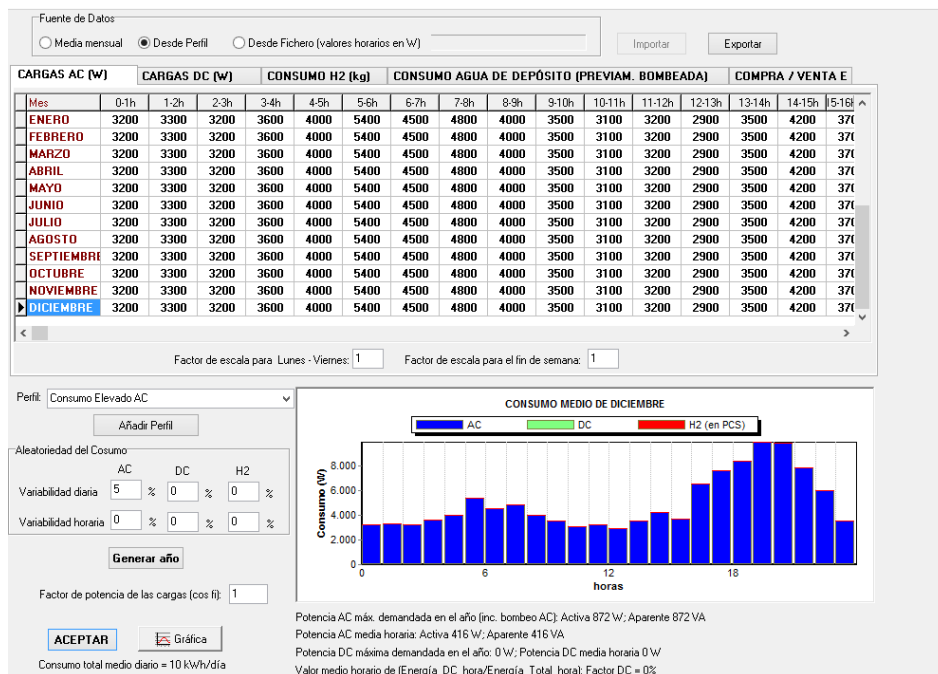
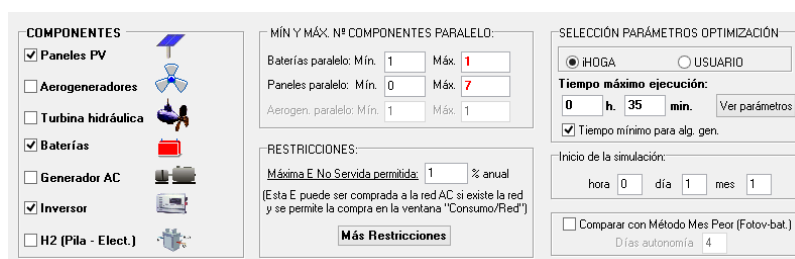


Ilustración 121. Perfil de la demanda por horas y meses del perfil consumo elevado.

El número de paneles permanece estable en 7:



COMPONENTES

- ☒ Paneles PV
- ☐ Aerogeneradores
- ☐ Turbina hidráulica
- ☒ Baterías
- ☐ Generador AC
- ☒ Inversor
- ☐ H2 (Pila - Elect.)

MÍN Y MÁX. Nº COMPONENTES PARALELO:

Baterías paralelo: Mín. 1 Máx. 1
 Paneles paralelo: Mín. 0 Máx. 7
 Aerogen. paralelo: Mín. 1 Máx. 1

SELECCIÓN PARÁMETROS OPTIMIZACIÓN

☒ HOGA ☐ USUARIO

Tiempo máximo ejecución:
 0 h. 35 min. Ver parámetros

☒ Tiempo mínimo para alg. gen.

Inicio de la simulación:
 hora 0 día 1 mes 1

☐ Comparar con Método Mes Peor (Fotov-bat.)
 Días autonomía 4

RESTRICCIONES:

Máxima E. No Servida permitida: 1 % anual
 (Esta E. puede ser comprada a la red AC si existe la red y se permite la compra en la ventana "Consumo/Red")

Más Restricciones

Ilustración 122. Número máximo de paneles en paralelo para satisfacer la demanda. Zona IV.. Perfil consumo elevado.

Se obtiene el caso óptimo, entre 16230, por métodos enumericos:

CAPÍTULO 4. SIMULACIONES AUTOCONSUMO

| Nº DE CASOS A EVALUAR Y TIEMPO ESPERADO: | | | | | |
|--|--------------------|------------------|------------------------|-----------------|------------|
| Velocidad de cálculo: 82.902 casos/segundo | | | | | |
| | M. ENUMER. | POB (% TODAS C.) | ALG. GEN. (% TODAS C.) | | |
| ALG. PCPAL. (COMB. COMPONENTES): | 16320 (1x16320) | 12294 (75,33%) | 174083 (1066,69%) | | |
| ALG. SEC. (COMB. VARIABLES CONT.): | 1 | 3 (300%) | 41 (4100%) | | |
| ALG. PCPAL. | ALG. SEC. | CASOS A EVALUAR | % | TIEMPO ESPERADO | |
| OPCIÓN 1: | M. ENUM. | M. ENUM. | 16320 | 100 % | 0h 3' 16" |
| OPCIÓN 2: | M. ENUM. | ALG. GEN. | 669120 | 4100 % | 2h 14' |
| OPCIÓN 3: | ALG. GEN. | M. ENUM. | 174083 | 1066,7 % | 0h 34' 59" |
| OPCIÓN 4: | ALG. GEN. | ALG. GEN. | 7137403 | 43734,1 % | 23h 54' |

Optimización mediante el método enumerativo. Se garantiza obtener el óptimo

Ilustración 123. Casos de estudio para zona IV y perfil consumo elevado.

El caso óptimo tiene un coste de 20198€, y un valor de kWh de 22 céntimos de euro.

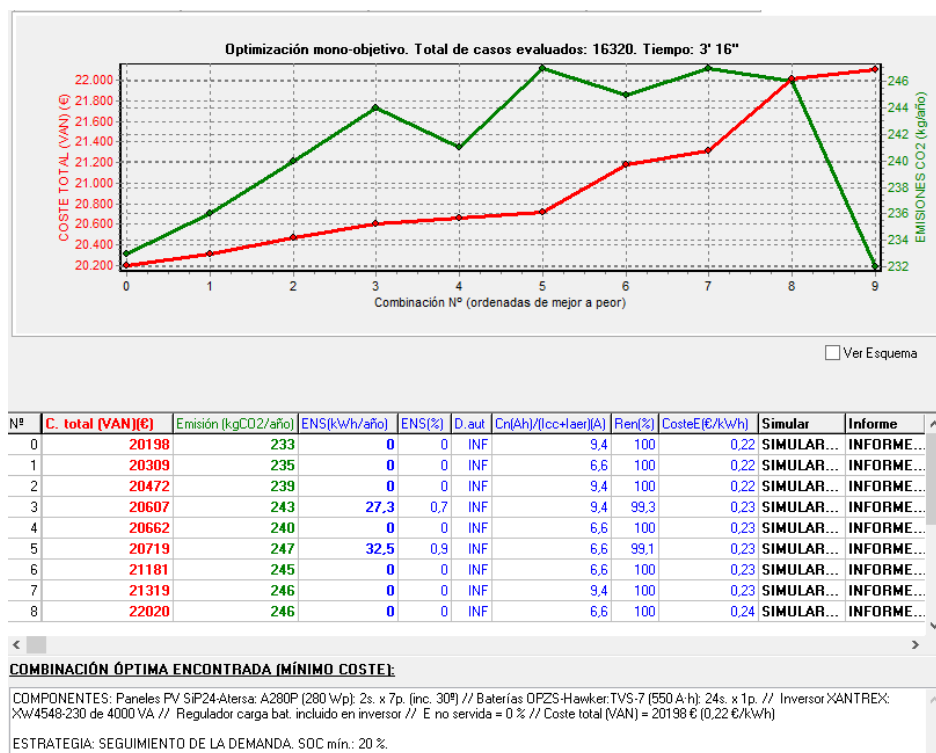


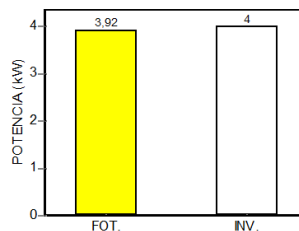
Ilustración 124. Resumen de las mejores combinaciones encontradas para el estudio de la zona IV, perfil consumo elevado.

Proyecto: 4 ELE AC.hoga. Config. nº 0

Tensión DC: 48 V. Tensión AC: 230 V

COMPONENTES

Paneles PV SIP24-Atersa: A280P (280 Wp): 2 serie x 7 par. P total = 3,92 kWp, 30° inc.
Baterías OPZS-Hawker: TVS-7 (Cn=550 A·h): 24 s. x 1 p. E total = 26,4 kWh (1,8 d.aut)
Sin Aerogeneradores
Sin Turbina Hid.
Sin Generador AC
Sin Pila Comb.
Sin Electrolizador
Inversor XANTREX: XW4548-230, pot. nominal 4000 VA
Regulador carga bat. incluido en inversor //
Sin Rectificador-cargador baterías



ESTRATEGIA DE CONTROL:

SEGUIMIENTO DE LA DEMANDA. SOC mín. baterías = 20 %

SILA POTENCIA PRODUCIDA POR LAS FUENTES RENOVABLES ES SUPERIOR AL CONSUMO: CARGA

Se cargan las Baterías con la potencia sobrante

SILA POTENCIA PRODUCIDA POR LAS FUENTES RENOVABLES ES INFERIOR AL CONSUMO: DESCARGA

Toda la potencia que falta deben suministrarla las baterías. Si no pueden, como no tienen apoyo, la energía que falte será Energía No Suministrada.

No existe Generador AC

Coste inicial de la inversión: 12691 €. Préstamo del 80 %, cuota anual: 1445,5 €. Coste combust. gen. AC 1º año: 0 €

COSTES PERIODO ESTUDIO (25 años) (VAN): (frente a caso de solo RED AC, 3650 kWh/año, C.total (VAN) de 14308 €)

Coste Total del sistema (VAN): 20198 €. Coste actualizado de la energía suministrada: 0,22 €/kWh

Coste Grupo Fotovoltaico (VAN): 6646 €

Coste Banco Baterías (VAN): 8861 €

Coste Inversor (VAN): 5265 €

Compra/Venta E. Gastos: Compra E. Elect(VAN): 2584 €. Ingresos: Venta E. Elect. (VAN): -5272 €. Venta H2 (VAN): 0 €.

BALANCE DE ENERGÍAS DEL SISTEMA A LO LARGO DE 1 AÑO:

Energía Total Demandada: 3649 kWh/año. Cubierta por ren.100%

Energía No Servida: 0 kWh/año (0 % de la demandada)

Energía producida en Exceso: 2040 kWh/año

Energía generada por los Paneles Fotov.: 6490 kWh/año

Energía generada por los Aerogeneradores: 0 kWh/año

Energía generada por la Turbina Hid.: 0 kWh/año

Energía generada por el Generador AC: 0 kWh/año

Horas de funcionamiento del Generador AC: 0 h/año

Energía generada por la Pila de Combustible: 0 kWh/año

Horas de funcionamiento de la Pila de Comb.: 0 h/año

Energía consumida por el Electrolizador: 0 kWh/año

Horas de funcionamiento del Electrolizador: 0 h/año

Energía cargada en las baterías: 2583 kWh/año

Energía descargada desde las baterías: 2587 kWh/año

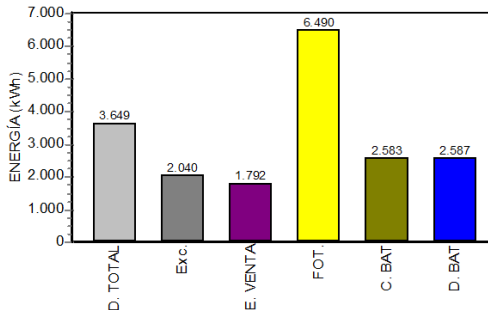
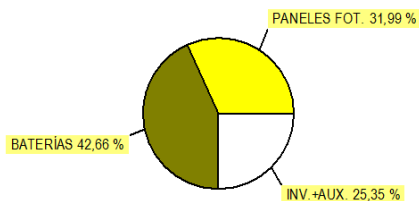
Vida de las baterías: 13,46 años

E. Eléctrica Vendida a Red AC: 1792 kWh/año

E. Eléctrica Comprada a Red AC: 0 kWh/año

Emissiones totales de CO2 : 233 kg CO2/año; Emisiones solo del generador AC(debidas al consumo de 0 litro/año): 0 kg CO2/año

H2 vendido anual : 0 kg H2/año //// IDH: 0,6129. Empleos creados durante vida sistema: 0,1412



Perfil de Consumo: Oficina AC

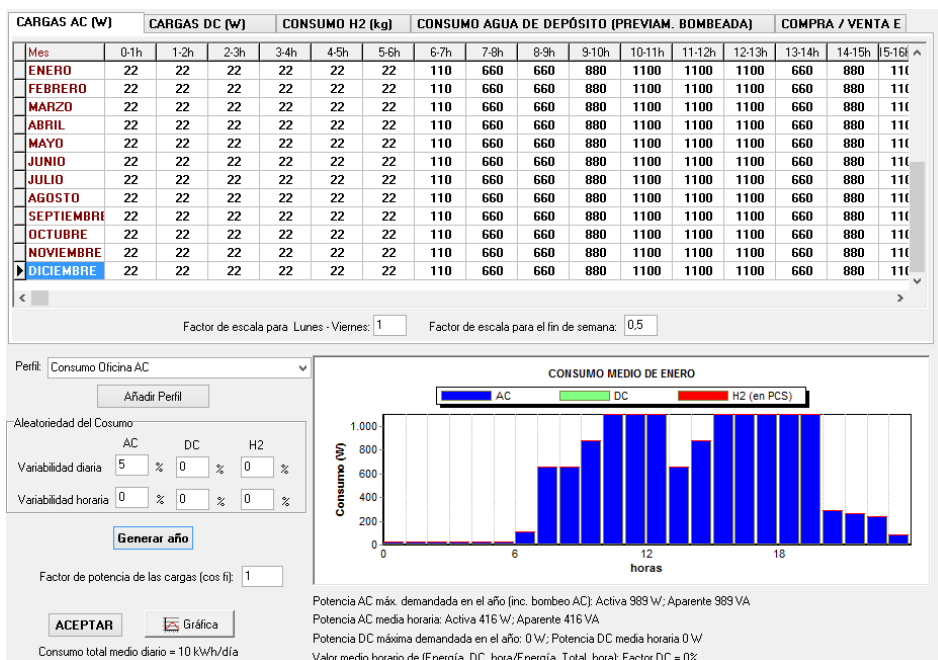


Ilustración 125. Perfil de la demanda por horas y meses del perfil consumo en oficina

El número de paneles, sigue en 7:

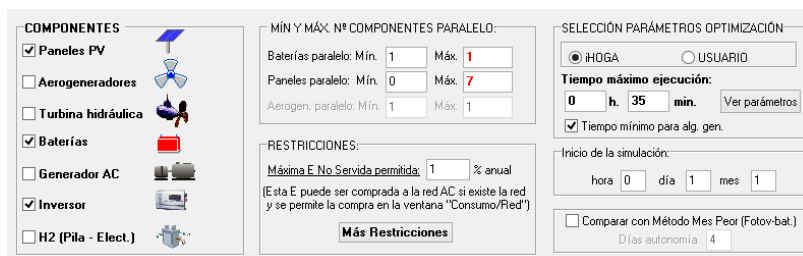


Ilustración 126. Número máximo de paneles en paralelo para satisfacer la demanda. Zona IV. Perfil consumo en oficina

De entre 16320 combinaciones, se escoge el caso óptimo, mediante métodos numéricos:

| Nº DE CASOS A EVALUAR Y TIEMPO ESPERADO: | | | | | |
|---|-------------|------------------|------------------------|-----------|-----------------|
| Velocidad de cálculo: 90.395 casos/segundo | | | | | |
| | M. ENUMER. | POB (% TODAS C.) | ALG. GEN. (% TODAS C.) | | |
| ALG. PCPAL. (COMB. COMPONENTES): | 16320 | 13406 (82,14%) | 189829 (1163,17%) | | |
| ALG. SEC. (COMB. VARIABLES CONT.): | 1 | 3 (300%) | 41 (4100%) | | |
| | ALG. PCPAL. | ALG. SEC. | CASOS A EVALUAR | % | TIEMPO ESPERADO |
| OPCIÓN 1: | M. ENUM. | M. ENUM. | 16320 | 100 % | 0h 3' 0" |
| OPCIÓN 2: | M. ENUM. | ALG. GEN. | 669120 | 4100 % | 2h 3' |
| OPCIÓN 3: | ALG. GEN. | M. ENUM. | 189829 | 1163,2 % | 0h 34' 59" |
| OPCIÓN 4: | ALG. GEN. | ALG. GEN. | 7782989 | 47689,9 % | 23h 54' |
| Optimización mediante el método enumerativo. Se garantiza obtener el óptimo | | | | | |

Ilustración 127. Casos de estudio para zona IV y perfil consumo en oficina.

El mejor caso implica un coste de 20515€ y ofrece un valor de kWh de 22 céntimos de euro.

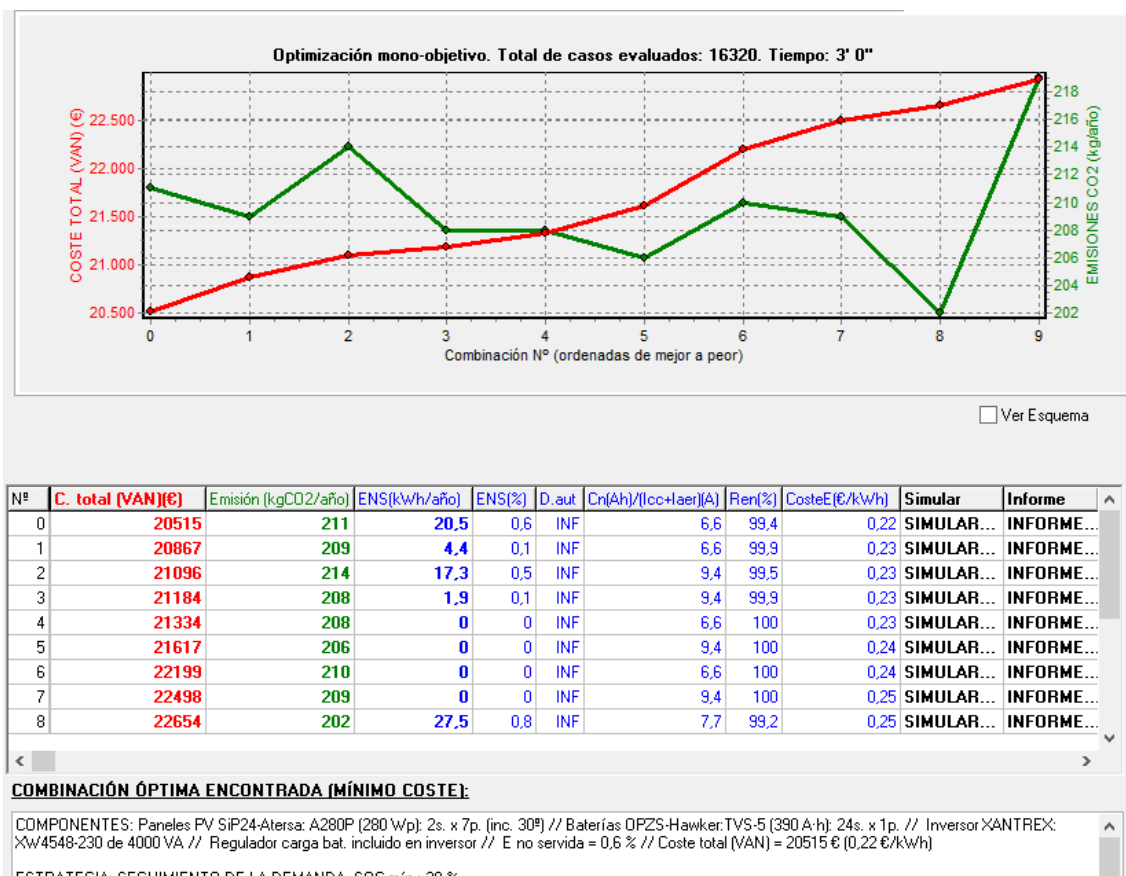


Ilustración 128. Resumen de las mejores combinaciones encontradas para el estudio de la zona IV, perfil C. oficina

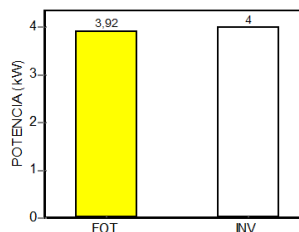
El siguiente informe muestra todos los parámetros de la solución óptima:

Proyecto: 4 OFI AC.hoga. Config. nº 0

Tensión DC: 48 V. Tensión AC: 230 V

COMPONENTES

Paneles PV SiP24-Atersa: A280P (280 Wp): 2 serie x 7 par. Ptotal = 3,92 kWp, 30° inc.
Baterías OPZS-Hawker: TVS-5 (Cn=390 A·h): 24 s. x 1 p. E total = 18,7 kWh (1,3 d. aut)
Sin Aerogeneradores
Sin Turbina Hid.
Sin Generador AC
Sin Pila Comb.
Sin Electrolizador
Inversor XANTREX: XW4548-230, pot. nominal 4000 VA
Regulador carga bat. incluido en inversor //
Sin Rectificador-cargador baterías



ESTRATEGIA DE CONTROL:

SEGUIMIENTO DE LA DEMANDA. SOC mín. baterías = 20 %

SILA POTENCIA PRODUCIDA POR LAS FUENTES RENOVABLES ES SUPERIOR AL CONSUMO: CARGA
Se cargan las Baterías con la potencia sobrante

SILA POTENCIA PRODUCIDA POR LAS FUENTES RENOVABLES ES INFERIOR AL CONSUMO: DESCARGA

Toda la potencia que falta deben suministrarla las baterías. Si no pueden, como no tienen apoyo, la energía que falte será Energía No Suministrada.

No existe Generador AC

Coste inicial de la inversión: 11783 €. Préstamo del 80 %, cuota anual: 1342,1 €. Coste combust. gen. AC 1º año: 0 €

COSTES PERIODO ESTUDIO (25 años) (VAN): (frente a caso de solo RED AC, 3650 kWh/año, C. total (VAN) de 14308 €)

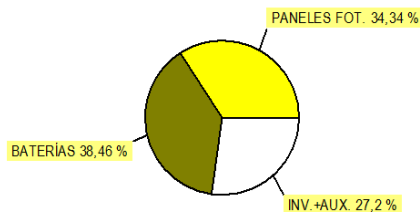
Coste Total del sistema (VAN): 20515 €. Coste actualizado de la energía suministrada: 0,22 €/kWh

Coste Grupo Fotovoltaico (VAN): 6646 €

Coste Banco Baterías (VAN): 7445 €

Coste Inversor (VAN): 5265 €

Compra/Venta E. Gastos: Compra E. Bect(VAN): 3095 €. Ingresos: Venta E.Bect. (VAN): -3919 €. Venta H2 (VAN): 0 €.



BALANCE DE ENERGÍAS DEL SISTEMA A LO LARGO DE 1 AÑO:

Energía Total Demandada: 3650 kWh/año. Cubierta por ren.99,4%

Energía No Servida: 20,5 kWh/año (0,56 % de la demandada)

Energía producida en Exceso: 1519 kWh/año

Energía generada por los Paneles Fotov.: 6490 kWh/año

Energía generada por los Aerogeneradores: 0 kWh/año

Energía generada por la Turbina Hid.: 0 kWh/año

Energía generada por el Generador AC: 0 kWh/año

Horas de funcionamiento del Generador AC: 0 h/año

Energía generada por la Pila de Combustible: 0 kWh/año

Horas de funcionamiento de la Pila de Comb.: 0 h/año

Energía consumida por el Electrolizador: 0 kWh/año

Horas de funcionamiento del Electrolizador: 0 h/año

Energía cargada en las baterías: 1840 kWh/año

Energía descargada desde las baterías: 1849 kWh/año

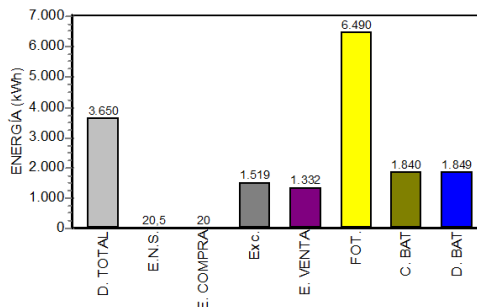
Vida de las baterías: 13,22 años

E. Eléctrica Vendida a Red AC: 1332 kWh/año

E. Eléctrica Comprada a Red AC: 20 kWh/año

Emisiones totales de CO2: 211 kg CO2/año; Emisiones solo del generador AC(debidas al consumo de 0 litro/año): 0 kg CO2/año

H2 vendido anual: 0 kg H2/año //// IDH: 0,6129. Empleos creados durante vida sistema: 0,1412



4.4.5 ZONA DE RADIACIÓN 5. ALBACETE

| Zona de radiación | Localidad | Latitud | Longitud |
|-------------------|-----------|----------|----------|
| V | Albacete | 38,99426 | 1,85823 |

Por último, analizamos una localización de la zona de mayor radiación nacional.

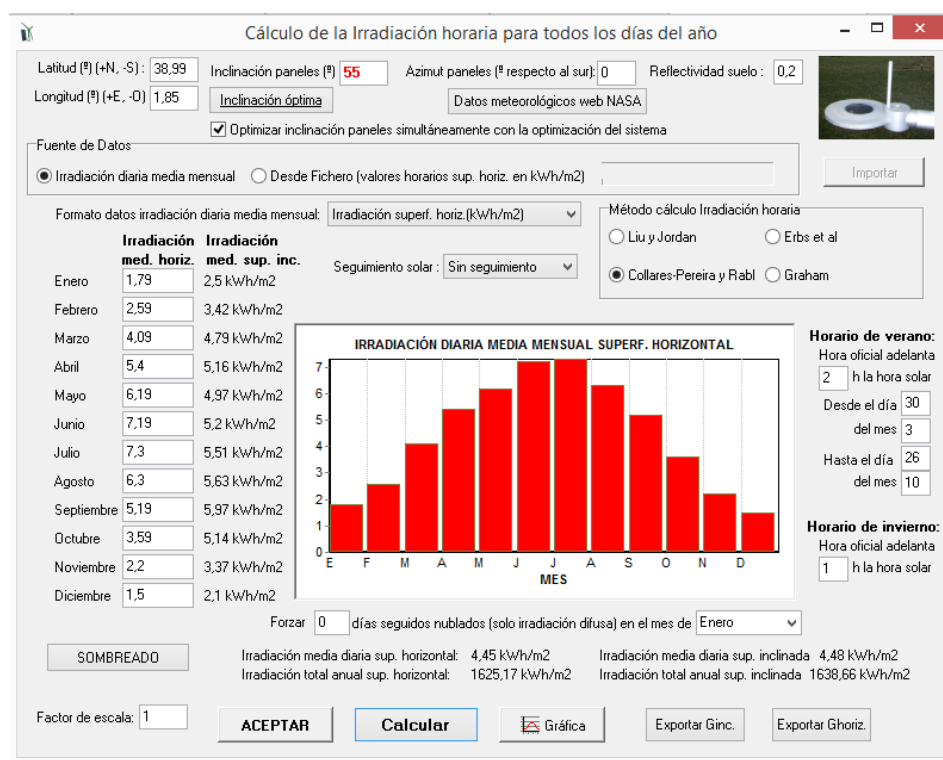


Ilustración 129. Radiación horaria a partir del perfil mensual, para la zona V.

Como en los anteriores casos, analizamos la rentabilidad, para tres casos de consumo:

Perfil de Consumo: Residencial Convencional AC

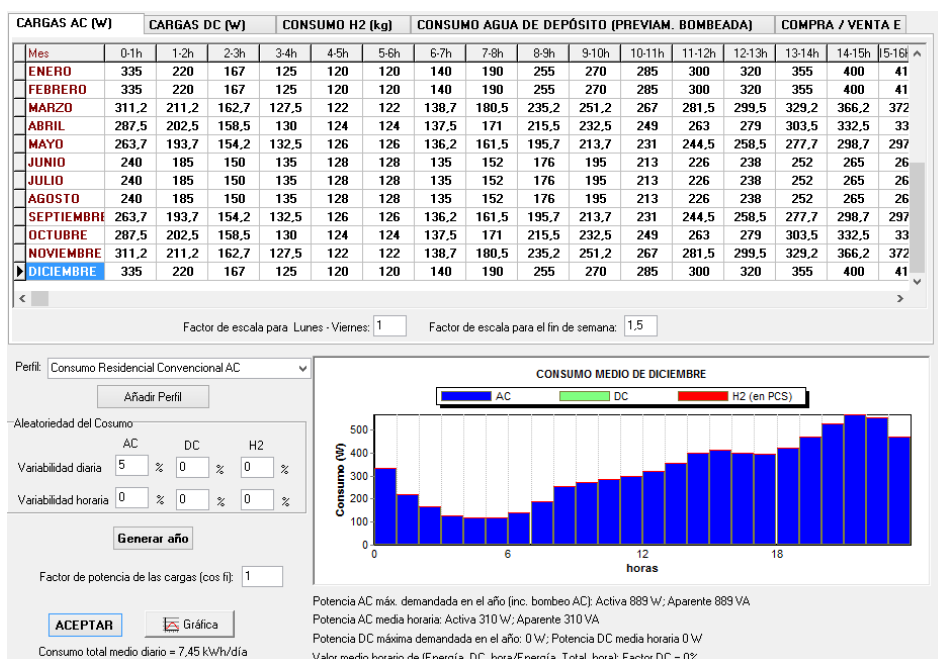





Ilustración 130. Perfil de consumo residencial.


El número de paneles está limitado a 14:


COMPONENTES


☒ Paneles PV
 


☐ Aerogeneradores
 

☐ Turbina hidráulica
 

☒ Baterías
 

☐ Generador AC
 

☒ Inversor
 

☐ H2 (Pila - Elect.)
 

MÍN Y MÁX. N° COMPONENTES PARALELO:

Baterías paralelo: Mín. Máx.

Paneles paralelo: Mín. Máx.

Aerogen. paralelo: Mín. Máx.

RESTRICCIONES:

Máxima F.No Servida permitida: % anual

(Esta E puede ser comprada a la red AC si existe la red y se permite la compra en la ventana "Consumo/Red")

Más Restricciones

SELECCIÓN PARÁMETROS OPTIMIZACIÓN

☒ HOGA
 ☐ USUARIO

Tiempo máximo ejecución:

h. min.

Ver parámetros

☒ Tiempo mínimo para alg. gen.

Inicio de la simulación:

hora día mes

☐ Comparar con Método Mes Peor (Fotov.bat.)

Días autonomía

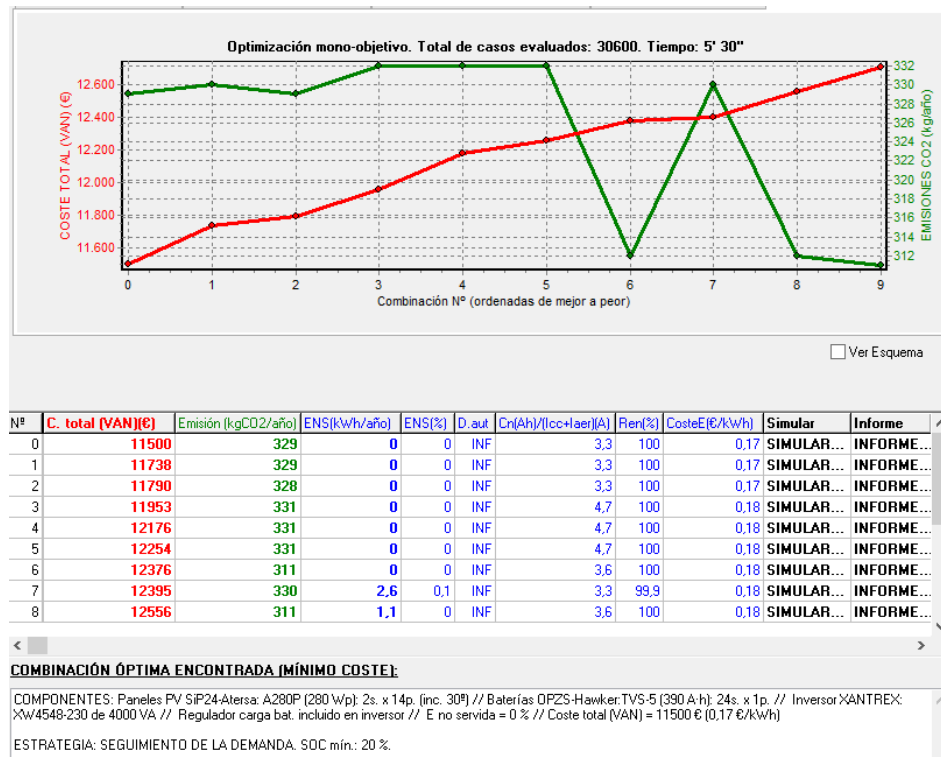
Ilustración 131. Número máximo de paneles en paralelo para satisfacer la demanda. Zona V. Perfil consumo residencial

Del total de 30600 casos de evaluación, se obtiene el óptimo, por métodos numéricos.

| Nº DE CASOS A EVALUAR Y TIEMPO ESPERADO: | | | | |
|--|--------------------|-------------------|------------------------|--------------------|
| Velocidad de cálculo: 92.593 casos/segundo | | | | |
| | M. ENUMER. | POB. (% TODAS C.) | ALG. GEN. (% TODAS C.) | |
| ALG. PCPAL. (COMB. COMPONENTES): | 30600 (1x30600) | 13731 (44,87%) | 194431 (635,4%) | |
| ALG. SEC. (COMB. VARIABLES CONT.): | 1 | 3 (300%) | 41 (4100%) | |
| | ALG. PCPAL. | ALG. SEC. | CASOS A EVALUAR | TIEMPO ESPERADO |
| OPCIÓN 1: | M. ENUM. | M. ENUM. | 30600 | 100 % 0h 5' 30" |
| OPCIÓN 2: | M. ENUM. | ALG. GEN. | 1254600 | 4100 % 3h 45' |
| OPCIÓN 3: | ALG. GEN. | M. ENUM. | 194431 | 635,4 % 0h 34' 59" |
| OPCIÓN 4: | ALG. GEN. | ALG. GEN. | 7971671 | 26051,2 % 23h 54' |

Ilustración 132. Casos de estudio para zona V y perfil consumo residencial..

La combinación óptima, tiene un coste de 11500€ y un coste de kWh de 0,17€.



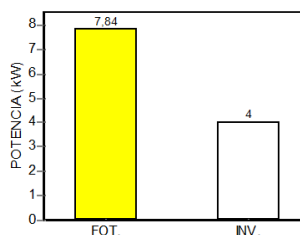
Toda la información sobre la solución elegida está en el siguiente informe:

Proyecto: 5 RE AC.hoga. Config. nº 0

Tensión DC: 48 V. Tensión AC: 230 V

COMPONENTES

Paneles PV SiP24-Atersa: A280P (280 Wp): 2 serie x 14 par. Ptotal = 7,84 kWp, 30° inc.
Baterías OPZS-Hawker: TVS-5 (Cn=390 A·h): 24 s. x 1 p. E total = 18,7 kWh (1,7 d.aut)
Sin Aerogeneradores
Sin Turbina Hid.
Sin Generador AC
Sin Pila Comb.
Sin Electrolizador
Inversor XANTREX: XW4548-230, pot. nominal 4000 VA
Regulador carga bat. incluido en inversor //
Sin Rectificador-cargador baterías



ESTRATEGIA DE CONTROL:

SEGUIMIENTO DE LA DEMANDA. SOC mín. baterías = 20 %

SI LA POTENCIA PRODUCIDA POR LAS FUENTES RENOVABLES ES SUPERIOR AL CONSUMO: CARGA

Se cargan las Baterías con la potencia sobrante

SI LA POTENCIA PRODUCIDA POR LAS FUENTES RENOVABLES ES INFERIOR AL CONSUMO: DESCARGA

Toda la potencia que falta deben suministrarla las baterías. Si no pueden, como no tienen apoyo, la energía que falte será Energía No Suministrada.

No existe Generador AC

Coste inicial de la inversión: 16781 €. Préstamo del 80 %, cuota anual: 1911,4€. Coste combust. gen. AC 1º año: 0 €

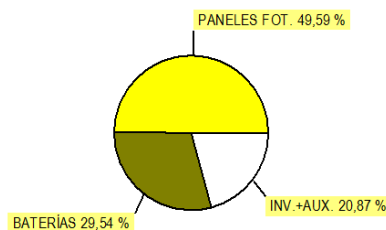
COSTES PERIODO ESTUDIO (25 años) (VAN): (frente a caso de solo RED AC, 2722kWh/año, C.total (VAN) de 11932 €)

Coste Total del sistema (VAN): 11500 €. Coste actualizado de la energía suministrada: 0,17 €/kWh

Coste Grupo Fotovoltaico (VAN): 12507 €

Coste Banco Baterías (VAN): 7451 €

Coste Inversor (VAN): 5265 €



Compra/Venta E. Gastos: Compra E. Ect(VAN): 2000 €. Ingresos: Venta E.Elect. (VAN): -18424 €. Venta H2 (VAN): 0 €.

BALANCE DE ENERGÍAS DEL SISTEMA A LO LARGO DE 1 AÑO:

Energía Total Demandada: 2722 kWh/año. Cubierta por ren.100%

Energía No Servida: 0 kWh/año (0 % de la demandada)

Energía producida en Exceso: 7468 kWh/año

Energía generada por los Paneles Fotov.: 10914 kWh/año

Energía generada por los Aerogeneradores: 0 kWh/año

Energía generada por la Turbina Hid.: 0 kWh/año

Energía generada por el Generador AC: 0 kWh/año

Horas de funcionamiento del Generador AC: 0 h/año

Energía generada por la Pila de Combustible: 0 kWh/año

Horas de funcionamiento de la Pila de Comb.: 0 h/año

Energía consumida por el Electrolizador: 0 kWh/año

Horas de funcionamiento del Electrolizador: 0 h/año

Energía cargada en las baterías: 1812 kWh/año

Energía descargada desde las baterías: 1817 kWh/año

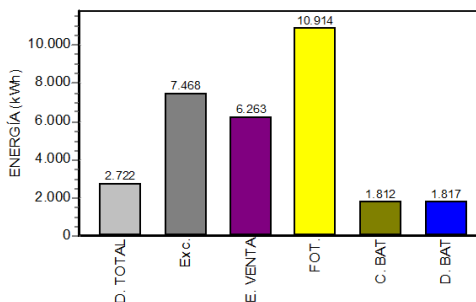
Vida de las baterías: 13,17 años

E. Eléctrica Vendida a Red AC: 6263 kWh/año

E. Eléctrica Comprada a Red AC: 0 kWh/año

Emissiones totales de CO2 : 329 kg CO2/año; Emisiones solo del generador AC(debidas al consumo de 0 litro/año): 0 kg CO2/año

H2 vendido anual : 0 kg H2/año /// IDH: 0,5842. Empleos creados durante vida sistema: 0,2374



Perfil de Consumo: Elevado AC

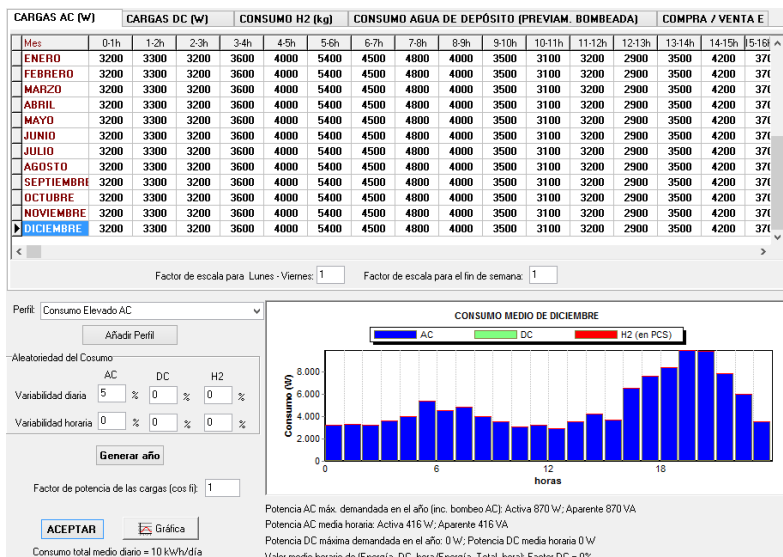
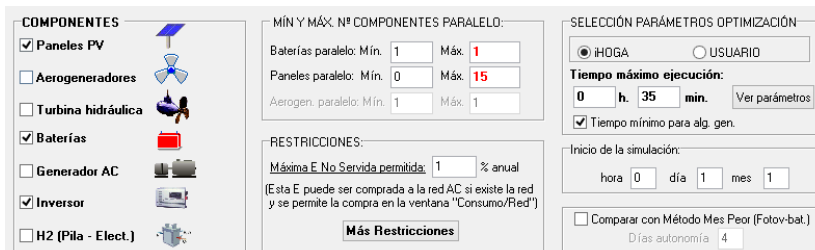


Ilustración 133. Perfil de la demanda por horas y meses del perfil consumo elevado

El número de paneles queda limitado a 15:



COMPONENTES

☒ Paneles PV

☐ Aerogeneradores

☐ Turbina hidráulica

☒ Baterías

☐ Generador AC

☒ Inversor

☐ H2 (Pila - Elect.)

MÍN Y MÁX. N° COMPONENTES PARALELO:

Baterías paralelo: Mín. 1 Máx. 1

Paneles paralelo: Mín. 0 Máx. 15

Aerogen. paralelo: Mín. 1 Máx. 1

RESTRICCIONES:

Máxima E No Servida permitida: 1 % anual

(Esta E puede ser comprada a la red AC si existe la red y se permite la compra en la ventana "Consumo/Red")

Más Restricciones

SELECCIÓN PARÁMETROS OPTIMIZACIÓN

☒ HOGA ☐ USUARIO

Tiempo máximo ejecución:

0 h. 35 min.

Ver parámetros

☒ Tiempo mínimo para alg. gen.

Inicio de la simulación:

hora 0 día 1 mes 1

☐ Comparar con Método Mes Peor (Fotov-bat.)

Días autonomía: 4

Ilustración 134. Número máximo de paneles en paralelo para satisfacer la demanda. Zona V. Perfil consumo elevado.

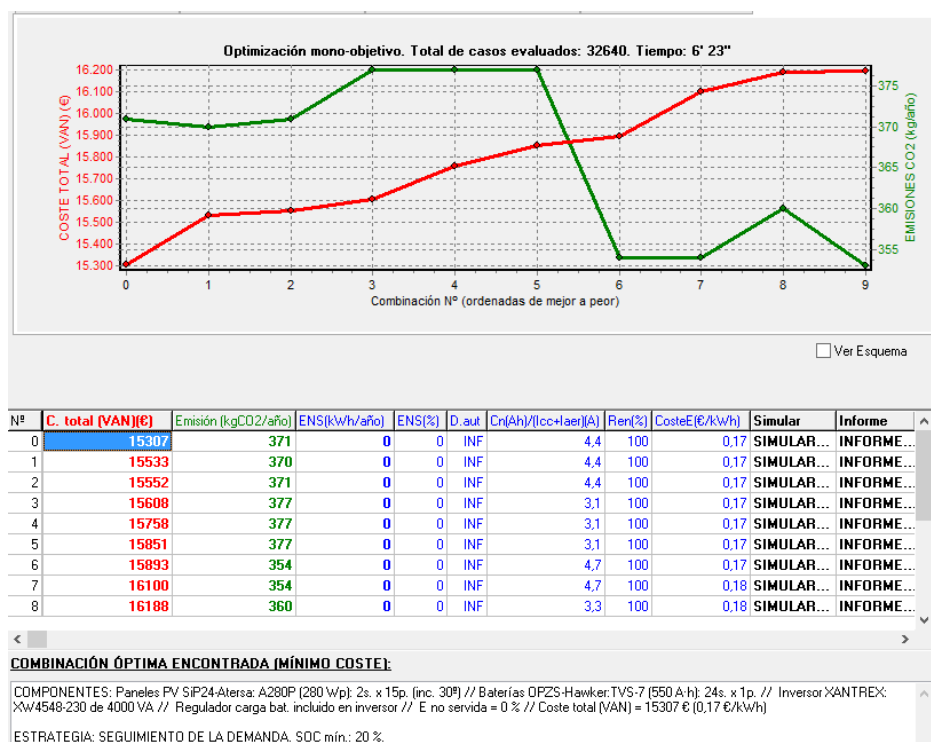
De entre los 32640 casos posibles, la herramienta calcula el óptimo, por métodos numéricos, que garantizan el resultado:

| N° DE CASOS A EVALUAR Y TIEMPO ESPERADO: | | | | | |
|--|-------------|------------------|------------------------|-----------|-----------------|
| Velocidad de cálculo: 85,333 casos/segundo | | | | | |
| | M. ENUMER. | POB (% TODAS C.) | ALG. GEN. (% TODAS C.) | | |
| ALG. PCPAL. (COMB. COMPONENTES): | 32640 | 12655 (38,77%) | 179195 (549%) | | |
| | [1x32640] | | | | |
| ALG. SEC. (COMB. VARIABLES CONT.): | 1 | 3 (300%) | 41 (4100%) | | |
| | ALG. PCPAL. | ALG. SEC. | CASOS A EVALUAR | % | TIEMPO ESPERADO |
| OPCIÓN 1: | M. ENUM. | M. ENUM. | 32640 | 100 % | 0h 6' 22" |
| OPCIÓN 2: | M. ENUM. | ALG. GEN. | 1338240 | 4100 % | 4h 21' |
| OPCIÓN 3: | ALG. GEN. | M. ENUM. | 179195 | 549 % | 0h 34' 59" |
| OPCIÓN 4: | ALG. GEN. | ALG. GEN. | 7346995 | 22509,2 % | 23h 54' |

Optimización mediante el método enumerativo. Se garantiza obtener el óptimo

Ilustración 135. Casos de estudio para zona I y perfil consumo elevado.

La solución óptima presenta un coste total de 15307€, con un coste de kWh de 0,17€.



El siguiente informe muestra todos los detalles del proyecto:

Proyecto: 5 ELE AC.hoga. Config. nº 0

Tensión DC: 48 V. Tensión AC: 230 V

COMPONENTES

Paneles PV SiP24-Atersa: A280P (280 Wp): 2 serie x 15 par. P total = 8,4 kWp, 30° inc.
Baterías OPZS-Hawker: TVS-7 (Cn=550 A·h): 24 s. x 1 p. E total = 26,4 kWh (1,8 d. aut)
Sin Aerogeneradores
Sin Turbina Hid.
Sin Generador AC
Sin Pila Comb.
Sin Electrolizador
Inversor XANTREX: XW4548-230, pot. nominal 4000 VA
Regulador carga bat. incluido en inversor //
Sin Rectificador-cargador baterías

ESTRATEGIA DE CONTROL:

SEGUIMIENTO DE LA DEMANDA. SOC min. baterías = 20 %

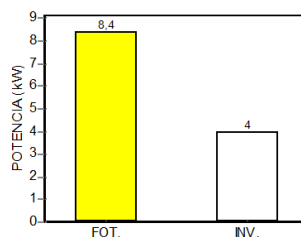
SILA POTENCIA PRODUCIDA POR LAS FUENTES RENOVABLES ES SUPERIOR AL CONSUMO: CARGA

Se cargan las Baterías con la potencia sobrante

SILA POTENCIA PRODUCIDA POR LAS FUENTES RENOVABLES ES INFERIOR AL CONSUMO: DESCARGA

Toda la potencia que falta deben suministrarla las baterías. Si no pueden, como no tienen apoyo o, la energía que falte será Energía No Suministrada.

No existe Generador AC



Coste inicial de la inversión: 18403 €. Préstamo del 80 %, cuota anual: 2096,1 €. Coste combust. gen. AC 1º año: 0 €

COSTES PERIODO ESTUDIO (25 años) (VAN): (frente a caso de solo RED AC, 3650kWh/año, C.total (VAN) de 14307 €)

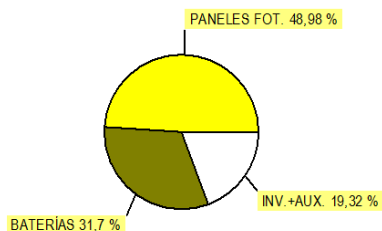
Coste Total del sistema (VAN): 15307 €. Coste actualizado de la energía suministrada: 0,17 €/kWh

Coste Grupo Fotovoltaico (VAN): 13344 €

Coste Banco Baterías (VAN): 8637 €

Coste Inversor (VAN): 5265 €

Compra/Venta E. Gastos: Compra E. Bect(VAN): 2578 €. Ingresos: Venta E.Bect. (VAN): -17451 €. Venta H2 (VAN): 0 €.



BALANCE DE ENERGÍAS DEL SISTEMA A LO LARGO DE 1 AÑO:

Energía Total Demandada: 3649 kWh/año. Cubierta por ren.100%

Energía No Servida: 0 kWh/año (0 % de la demandada)

Energía producida en Exceso: 7258 kWh/año

Energía generada por los Paneles Fotov.: 11694 kWh/año

Energía generada por los Aerogeneradores: 0 kWh/año

Energía generada por la Turbina Hid.: 0 kWh/año

Energía generada por el Generador AC: 0 kWh/año

Horas de funcionamiento del Generador AC: 0 h/año

Energía generada por la Pila de Combustible: 0 kWh/año

Horas de funcionamiento de la Pila de Comb.: 0 h/año

Energía consumida por el Electrolizador: 0 kWh/año

Horas de funcionamiento del Electrolizador: 0 h/año

Energía cargada en las baterías: 2489 kWh/año

Energía descargada desde las baterías: 2493 kWh/año

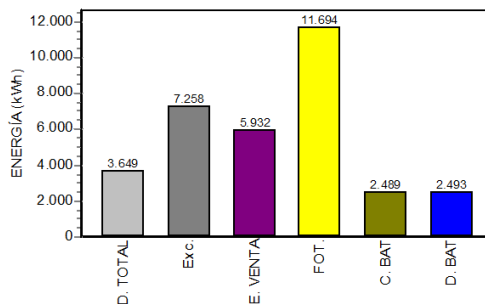
Vida de las baterías: 14,12 años

E. Eléctrica Vendida a Red AC: 5932 kWh/año

E. Eléctrica Comprada a Red AC: 0 kWh/año

Emissiones totales de CO2: 371 kg CO2/año; Emisiones solo del generador AC(debidas al consumo de 0 litro/año): 0 kg CO2/año

H2 vendido anual: 0 kg H2/año // IDH: 0,6129. Empleos creados durante vida sistema: 0,2544



Perfil de Consumo: Oficina AC

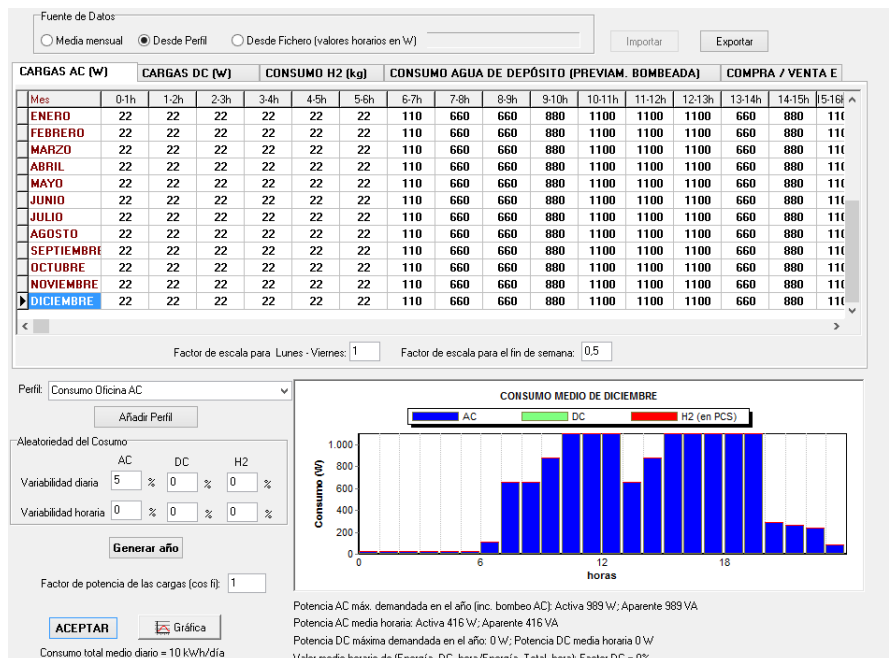


Ilustración 136. Perfil de la demanda por horas y meses del perfil consumo en oficina.

El número máximo de paneles queda limitado a 15:

COMPONENTES

☒ Paneles PV ☐ Aerogeneradores ☐ Turbina hidráulica ☒ Baterías ☐ Generador AC ☒ Inversor ☐ H2 (Pila - Elect.)

MÍN Y MÁX. N° COMPONENTES PARALELO:

Baterías paralelo: Mín. 1 Máx. 1
 Paneles paralelo: Mín. 0 Máx. 15
 Aerogen. paralelo: Mín. 1 Máx. 1

SELECCIÓN PARÁMETROS OPTIMIZACIÓN

☒ HOGA ☐ USUARIO

Tiempo máximo ejecución:
 0 h. 35 min. Ver parámetros

☒ Tiempo mínimo para alg. gen.

Inicio de la simulación:
 hora 0 día 1 mes 1

☐ Comparar con Método Mes Peor (Fotov-bat.)
 Días autonomía 4

RESTRICCIONES:

Máxima E No Servida permitida: 1 % anual
 (Esta E puede ser comprada a la red AC si existe la red y se permite la compra en la ventana "Consumo/Red")

Más Restricciones

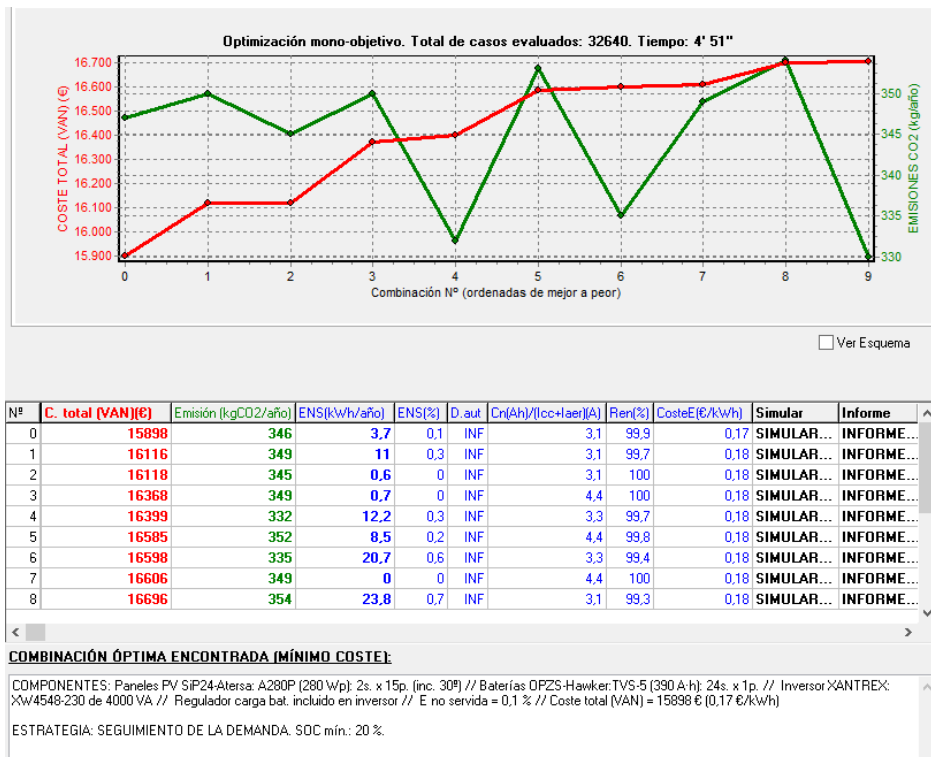
Ilustración 137. Número máximo de paneles en paralelo para satisfacer la demanda. Zona V. Perfil consumo en oficina

Hay 32640 combinaciones. Entre ellas, la óptima se encuentra por métodos enumerativos:

| Nº DE CASOS A EVALUAR Y TIEMPO ESPERADO: | | | | | |
|---|------------|-------------------|------------------------|-----------------|------------|
| Velocidad de cálculo: 111.888 casos/segundo | | | | | |
| | M. ENUMER. | POB. (% TODAS C.) | ALG. GEN. (% TODAS C.) | | |
| ALG. PCPAL. (COMB. COMPONENTES): | 32640 | 16593 (50.84%) | 234957 (719.84%) | | |
| | (1x32640) | | | | |
| ALG. SEC. (COMB. VARIABLES CONT.): | 1 | 3 (300%) | 41 (4100%) | | |
| ALG. PCPAL. | ALG. SEC. | CASOS A EVALUAR | % | TIEMPO ESPERADO | |
| OPCIÓN 1: | M. ENUM. | M. ENUM. | 32640 | 100 % | 0h 4' 51" |
| OPCIÓN 2: | M. ENUM. | ALG. GEN. | 1338240 | 4100 % | 3h 19' |
| OPCIÓN 3: | ALG. GEN. | M. ENUM. | 234957 | 719.8 % | 0h 34' 59" |
| OPCIÓN 4: | ALG. GEN. | ALG. GEN. | 9633237 | 29513.6 % | 23h 54' |
| Optimización mediante el método enumerativo. Se garantiza obtener el óptimo | | | | | |

Ilustración 138. Casos de estudio para zona V y perfil consumo en oficina.

Este caso óptimo, tiene un coste de 15898€ y un valor de 0,17€ por cada kWh consumido.



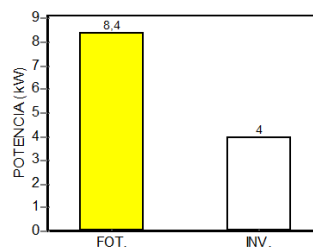
Los detalles de la instalación se muestran en el siguiente informe:

Proyecto: 5 OFI AC.hoga. Config. nº 0

Tensión DC: 48 V. Tensión AC: 230 V

COMPONENTES

Paneles PV SiP24-Atersa: A280P (280 Wp): 2 serie x 15 par. Ptotal = 8,4 kWp, 30° inc.
Baterías OPZS-Hawker: TVS-5 (Cn=390 A-h): 24 s. x 1 p. Etotal = 18,7 kWh (1,3 d.aut)
Sin Aerogeneradores
Sin Turbina Hid.
Sin Generador AC
Sin Pila Comb.
Sin Electrolizador
Inversor XANTREX: XW4548-230, pot. nominal 4000 VA
Regulador carga bat. incluido en inversor //
Sin Rectificador-cargador baterías



ESTRATEGIA DE CONTROL:

SEGUIMIENTO DE LA DEMANDA. SOC mín. baterías = 20 %

SILA POTENCIA PRODUCIDA POR LAS FUENTES RENOVABLES ES SUPERIOR AL CONSUMO: CARGA

Se cargan las Baterías con la potencia sobrante

SILA POTENCIA PRODUCIDA POR LAS FUENTES RENOVABLES ES INFERIOR AL CONSUMO: DESCARGA

Toda la potencia que falta deben suministrarla las baterías. Si no pueden, como no tienen apoyo o, la energía que falte será Energía No Suministrada.

No existe Generador AC

Coste inicial de la inversión: 17495 €. Préstamo del 80 %, cuota anual: 1992,7 €. Coste combust. gen. AC 1º año: 0 €

COSTES PERIODO ESTUDIO (25 años) (VAN): (frente a caso de solo RED AC, 3650kWh/año, C.total (VAN) de 14308 €)

Coste Total del sistema (VAN): 15898 €. Coste actualizado de la energía suministrada: 0,17 €/kWh

Coste Grupo Fotovoltaico (VAN): 13344 €

Coste Banco Baterías (VAN): 7418 €

Coste Inversor (VAN): 5265 €

BALANCE DE ENERGÍAS DEL SISTEMA A LO LARGO DE 1 AÑO:

Energía Total Demandada: 3650 kWh/año. Cubierta por ren.99,9%

Energía No Servida: 3,7 kWh/año (0,1 % de la demandada)

Energía producida en Exceso: 6689 kWh/año

Energía generada por los Paneles Fotov.: 11694 kWh/año

Energía generada por los Aerogeneradores: 0 kWh/año

Energía generada por la Turbina Hid.: 0 kWh/año

Energía generada por el Generador AC: 0 kWh/año

Horas de funcionamiento del Generador AC: 0 h/año

Energía generada por la Pila de Combustible: 0 kWh/año

Horas de funcionamiento de la Pila de Comb.: 0 h/año

Energía consumida por el Electrolizador: 0 kWh/año

Horas de funcionamiento del Electrolizador: 0 h/año

Energía cargada en las baterías: 1756 kWh/año

Energía descargada desde las baterías: 1763 kWh/año

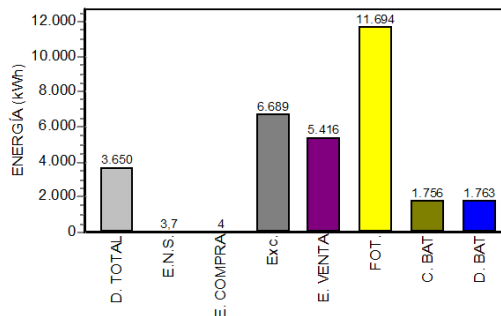
Vida de las baterías: 13,43 años

E. Eléctrica Vendida a Red AC: 5416 kWh/año

E. Eléctrica Comprada a Red AC: 4 kWh/año

Emissiones totales de CO2 : 346 kg CO2/año; Emisiones solo del generador AC(debidas al consumo de 0 litro/año): 0 kg CO2/año

H2 vendido anual : 0 kg H2/año //// IDH: 0,6129. Empleos creados durante vida sistema: 0,2544



CAPÍTULO 5. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS.

Finalmente, este capítulo expone las conclusiones que se desprenden de los resultados de los casos de estudio, a partir de su comparativa.

5.1 COMPARATIVA DE RESULTADOS

Para comparar mejor los resultados en las diferentes zonas y casos estudiados, se ha dividido el análisis según ciertos parámetros del mismo:

5.1.1 COMPARATIVAS POR COSTE

Es el principal parámetro respecto a la rentabilidad de la solución.

La siguiente tabla recoge los resultados para coste total, coste de la energía por kWh y coste de la inversión en equipamiento:

Tabla 8. Comparativa económica de los sistemas autónomos estudiados

| Caso de estudio | Coste Total (VAN) (€) | Coste energía suministrada (€/KW) | Coste equipamiento en inversión inicial(€) |
|--------------------------------|-----------------------|-----------------------------------|--|
| Zona I. Perf. Residencial CA | 7694 | 0,11 | 17495 |
| Zona I. Perf. Elevado CA | 11426 | 0,13 | 19831 |
| Zona I. Perf. Oficina CA | 12091 | 0,13 | 18209 |
| Zona II. Perf. Residencial CA | 14907 | 0,22 | 16067 |
| Zona II. Perf. Elevado CA | 18105 | 0,2 | 18105 |
| Zona II. Perf. Oficina CA | 18398 | 0,2 | 17495 |
| Zona III. Perf. Residencial CA | 16711 | 0,25 | 12497 |
| Zona III. Perf. Elevado CA | 19979 | 0,22 | 14119 |
| Zona III. Perf. Oficina CA | 25584 | 0,28 | 16469 |
| Zona IV. Perf. Residencial CA | 15471 | 0,23 | 11783 |
| Zona IV. Perf. Elevado CA | 20198 | 0,22 | 12691 |
| Zona IV. Perf. Oficina CA | 20515 | 0,22 | 11783 |
| Zona V. Perf. Residencial CA | 11500 | 0,17 | 16781 |
| Zona V. Perf. Elevado CA | 15307 | 0,17 | 18403 |
| Zona V. Perf. Oficina CA | 15898 | 0,17 | 17495 |

La primera conclusión es que en todos los casos estudiados, **el sistema autónomo es más rentable para el consumo residencial**. Las inversiones son menores, y el kWh es el que tiene un precio más competitivo.

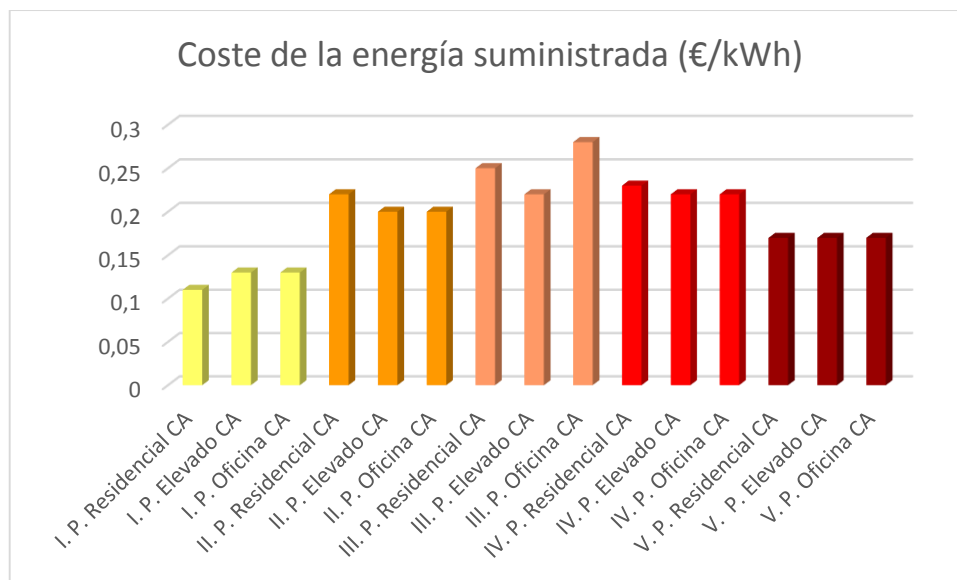


Gráfico 1. Coste de la energía suministrada (€/kWh).

Sin embargo **en la mayoría de los casos, está por encima del valor de kWh para sistemas no autónomos**, conectados a la red (0,14€ para 2014). Es por ello, que es necesario que los precios del kWh servido por la red, y los peajes de inyección sean los mínimos posibles, para hacer más atractiva la inversión en sistemas autónomos.

Los costes iniciales son similares, siendo más atractivos en las zonas III y IV, ya que son las zonas con un mejor reparto de la irradiación a lo largo del año, y requieren de un menor número de paneles fotovoltaicos, para garantizar el suministro de energía, con el mínimo de energía no servida.

A pesar de ello, **para la zona III, el valor del kWh es mayor**, debido a los gastos de compra de energía a la red, para suplir la energía no servida por el sistema autónomo.

Esto ocurre porque el dimensionamiento ha tenido en cuenta el reparto de la irradiación, pero no se llega a alcanzar el máximo de días de almacenamiento, y hay que pedir energía a la red.

Las zonas III y IV son las que menos paneles necesitan en sus sistemas, lo que hace que la energía creada sea semejante a la consumida, y el excedente de almacenamiento sea menor, con lo que la demanda llegará a no ser cubierta, y habrá que comprar kWh a la red. De ahí que su precio sea mayor que en el resto de casos.

Los casos de autoconsumo en oficina son los peores, a nivel económico, ya que el reparto de la carga es irregular, y la demanda es mayor y también más irregular, con lo que hay que aumentar tanto el número de paneles fotovoltaicos, como el número de kWh comprados a la red.

En cuanto a la inversión inicial, tanto el perfil de consumo elevado como el de oficina, presentan valores parecidos, en torno a los 18 mil €. Destaca la zona IV, por su menor inversión inicial, debida a un número menor de paneles necesarios.

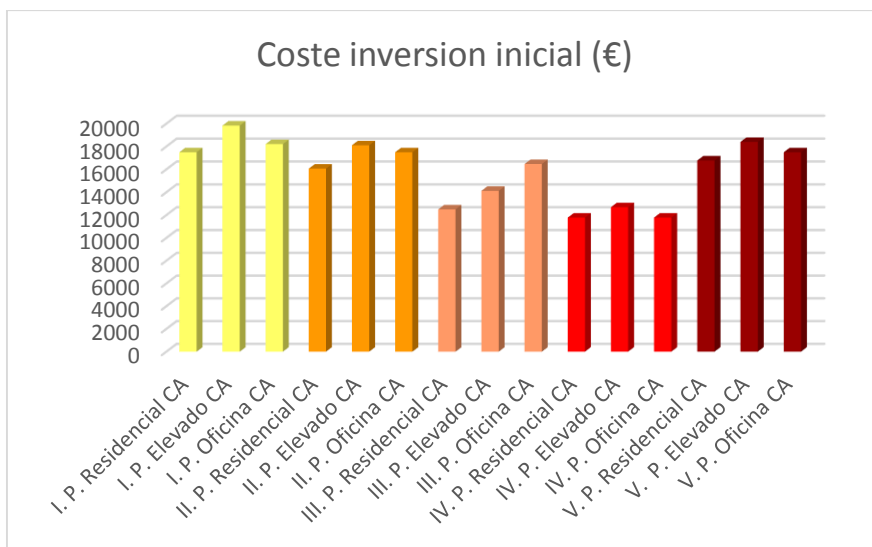


Gráfico 2. Coste de la inversión inicial (€)

El coste total (VAN) es siempre más elevado en los casos de perfil de Oficina AC, por la mayor demanda. Como podemos ver en el gráfico siguiente, los costes son mayores conforme la demanda es mayor:

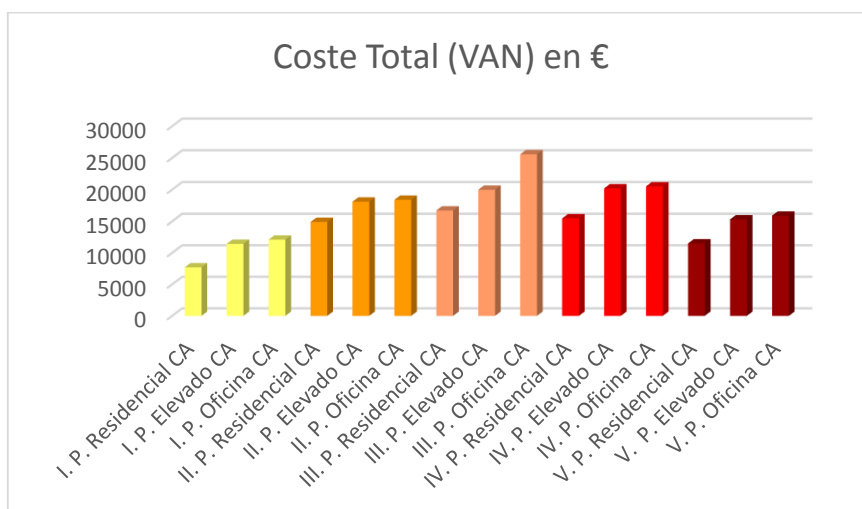


Gráfico 3. Coste Total (VAN) en euros

5.1.2 COMPARATIVAS POR EMISIONES Y FACTOR HUMANO

Tabla 9. Comparativa de emisiones y factor humano para los diferentes casos de S. Autónomos

| Caso de estudio | Emisión CO2 (kg/año) | IDH (índice desarrollo humano) | Empleo neto |
|--------------------------------|----------------------|--------------------------------|-------------|
| Zona I. Perf. Residencial CA | 344 | 0,6129 | 0,3205 |
| Zona I. Perf. Elevado CA | 405 | 0,6129 | 0,3205 |
| Zona I. Perf. Oficina CA | 357 | 0,6129 | 0,3017 |
| Zona II. Perf. Residencial CA | 312 | 0,5835 | 0,198 |
| Zona II. Perf. Elevado CA | 379 | 0,6129 | 0,2285 |
| Zona II. Perf. Oficina CA | 349 | 0,6129 | 0,2285 |
| Zona III. Perf. Residencial CA | 231 | 0,5836 | 0,1389 |
| Zona III. Perf. Elevado CA | 280 | 0,6129 | 0,16 |
| Zona III. Perf. Oficina CA | 295 | 0,6129 | 0,149 |
| Zona IV. Perf. Residencial CA | 203 | 0,6129 | 0,1412 |
| Zona IV. Perf. Elevado CA | 233 | 0,6129 | 0,1412 |
| Zona IV. Perf. Oficina CA | 211 | 0,6129 | 0,1412 |
| Zona V. Perf. Residencial CA | 329 | 0,6129 | 0,2374 |
| Zona V. Perf. Elevado CA | 371 | 0,6129 | 0,254 |
| Zona V. Perf. Oficina CA | 346 | 0,6129 | 0,254 |

El número de emisiones depende de los procesos de fabricación de los paneles y otros elementos del sistema, como el inversor y las baterías.

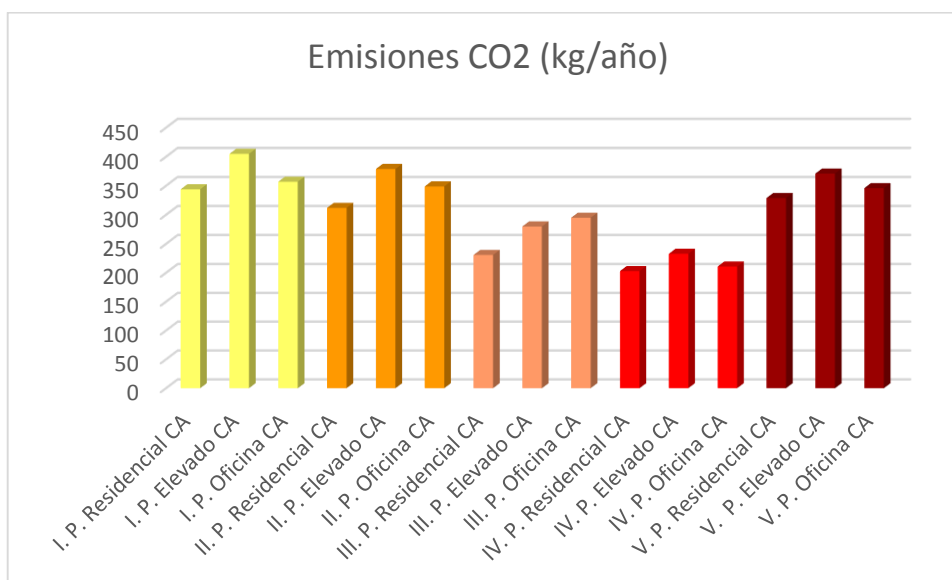


Gráfico 4. Emisiones CO2 en kg/año

Como los elementos son bastante similares en todos los casos, las emisiones dependerán del número de paneles que conformen la granja del sistema. Y por tanto, son las zonas I y V las que más contaminarían, debido al número mayor de paneles.

Como se ha comentado anteriormente, la distribución e intensidad de la irradiación es muy importante, y en estos casos, va en contra del sistema, al tener que aumentar el número de paneles, y por tanto, ser más contaminante.

Es curioso que un caso de la zona V, la más irradiada, no sea el caso menos contaminante, con menos paneles. Ello es debido a la distribución de la irradiación, que en meses de invierno es muy dispar a los meses de verano.

En cuanto al **IDH todos los valores son similares, en torno al 0,6**.

El **empleo neto** también está ligado a la fabricación de los componentes, y será mayor por tanto, en las zonas que necesiten más paneles fotovoltaicos, como son **la I y la V**:

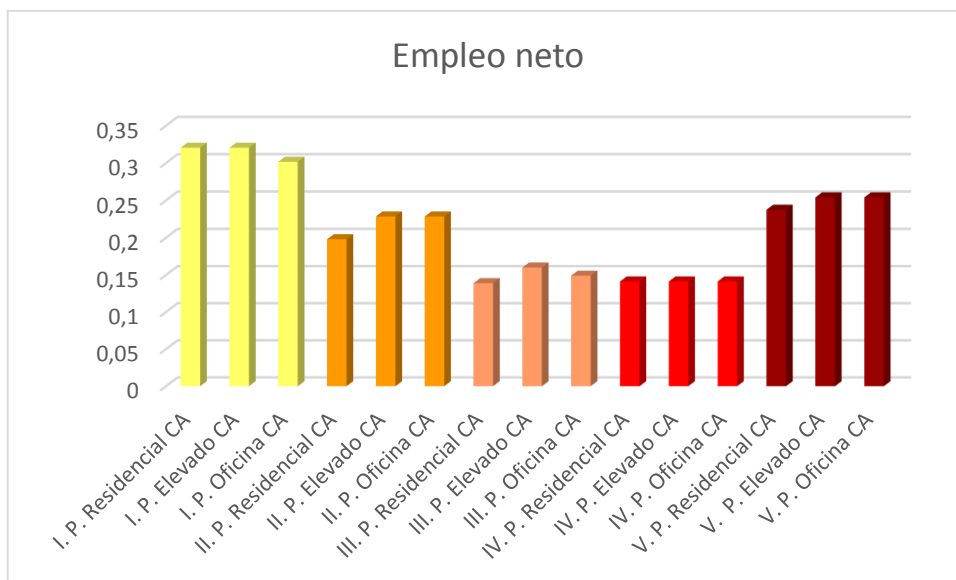


Gráfico 4. Empleo neto creado por los sistemas óptimos

5.1.3 COMPARATIVAS POR BALANCE DE ENERGÍA

La siguiente tabla muestra la comparativa de energía generada, demandada y almacenada en los sistemas óptimos de cada zona.

Tabla 10. Energía generada, inyectada, consumida y almacenada para el sist. óptimo de cada zona.

| Caso de estudio | Energía generada (kWh/año) | Energía no servida (%) | Energía demandada (kWh/año) | Exceso de energía (kWh/año) | Energía vendida (kWh/año) | Energía cargada a baterías (kWh/año) | Energía descargada a baterías (kWh/año) |
|--------------------------------|----------------------------|------------------------|-----------------------------|-----------------------------|---------------------------|--------------------------------------|---|
| Zona I. Perf. Residencial CA | 13003 | 0,00 | 2702 | 9594 | 7852 | 1726 | 1730 |
| Zona I. Perf. Elevado CA | 14737 | 0,00 | 3649 | 10325 | 7877 | 2373 | 2376 |
| Zona I. Perf. Oficina CA | 13870 | 0,00 | 3650 | 8878 | 6937 | 1637 | 1638 |
| Zona II. Perf. Residencial CA | 9105 | 0,00 | 2702 | 5679 | 4829 | 1813 | 1818 |
| Zona II. Perf. Elevado CA | 10506 | 0,00 | 3650 | 6067 | 5078 | 2513 | 2518 |
| Zona II. Perf. Oficina CA | 10506 | 0,11 | 3650 | 5499 | 4585 | 1784 | 1792 |
| Zona III. Perf. Residencial CA | 6383 | 1,00 | 2705 | 2990 | 2616 | 1793 | 1807 |
| Zona III. Perf. Elevado CA | 7350 | 0,95 | 3649 | 2952 | 2555 | 2538 | 2556 |
| Zona III. Perf. Oficina CA | 6847 | 1 | 3649 | 1893 | 1649 | 1878 | 1904 |
| Zona IV. Perf. Residencial CA | 6490 | 0 | 2716 | 3047 | 2674 | 1816 | 1821 |
| Zona IV. Perf. Elevado CA | 6490 | 0 | 3649 | 2040 | 1792 | 2583 | 2587 |
| Zona IV. Perf. Oficina CA | 6490 | 0,6 | 3650 | 1519 | 1332 | 1840 | 1849 |
| Zona V. Perf. Residencial CA | 10914 | 0 | 2722 | 7468 | 6263 | 1812 | 1817 |
| Zona V. Perf. Elevado CA | 11694 | 0 | 3649 | 7258 | 5932 | 2489 | 2493 |
| Zona V. Perf. Oficina CA | 11694 | 0,1 | 3649 | 6689 | 5416 | 1756 | 1763 |

Los parámetros de energía demandada son fijos, ya que hemos utilizado los mismos modelos en todas las zonas.

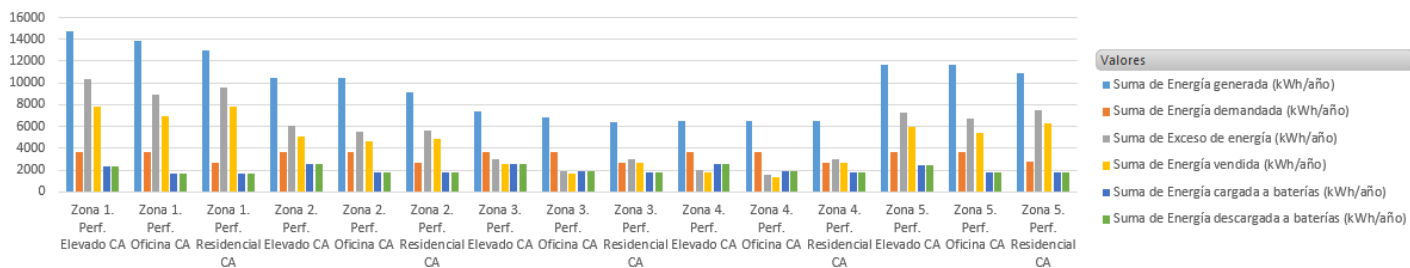


Gráfico 5. Balance general de energías, en Kwh

Destacan las zonas I y V son las que más generan energía, debido al mayor número de paneles en ambas.

Llama de nuevo la atención del caso de la zona V. Es de las zonas donde más energía se genera, pero el perfil más irregular de irradiación durante el año, hace que el seguimiento sea más difícil, y por tanto, haya un mayor exceso de energía en verano, y lo contrario en invierno.

Los perfiles de carga son similares en todas las zonas, y están optimizados para que se contribuyan al menor coste del abastecimiento de la demanda.

Esas mismas zonas (I y V) destacan por la venta de energía a la red, lo que abarata considerablemente el precio del kWh.

Cabe reseñar que el sistema óptimo de la zona III no es capaz de servir toda la energía demandada, por lo que debe comprar energía a la red, encareciendo el precio final del kWh.

5.1.4 COMPARATIVAS DE ELEMENTOS DEL SISTEMA

La siguiente tabla compara el número de paneles, y baterías de los diferentes sistemas.

Todos comparten el mismo inversor, que está muy relacionado con el patrón de consumo (que es el mismo en todas las zonas, para los diferentes casos: residencial CA, elevado CA y oficina CA).

Tabla 11. Comparativa de los elementos de los diferentes sistemas estudiados, por zonas.

| Caso de estudio | Nº paneles fotovoltaicos | Potencia Nominal de los paneles (Wp) | Inclinación (°) | Potencia fotovoltaica (kWp) | Nº Baterías | Carga nominal de la batería (Ah) | Potencia Inversor (VA) |
|--------------------------------|--------------------------|--------------------------------------|-----------------|-----------------------------|-------------|----------------------------------|------------------------|
| Zona I. Perf. Residencial CA | 15 | 280 | 40 | 8,4 | 1 | 550 | 4000 |
| Zona I. Perf. Elevado CA | 17 | 280 | 40 | 9,52 | 1 | 550 | 4000 |
| Zona I. Perf. Oficina CA | 16 | 280 | 40 | 8,96 | 1 | 390 | 4000 |
| Zona II. Perf. Residencial CA | 13 | 280 | 30 | 7,28 | 1 | 390 | 4000 |
| Zona II. Perf. Elevado CA | 15 | 280 | 30 | 8,4 | 1 | 550 | 4000 |
| Zona II. Perf. Oficina CA | 15 | 280 | 30 | 8,4 | 1 | 390 | 4000 |
| Zona III. Perf. Residencial CA | 8 | 280 | 50 | 4,48 | 1 | 390 | 4000 |
| Zona III. Perf. Elevado CA | 9 | 280 | 40 | 5,04 | 1 | 550 | 4000 |
| Zona III. Perf. Oficina CA | 9 | 280 | 60 | 5,04 | 1 | 816 | 4000 |
| Zona IV. Perf. Residencial CA | 7 | 280 | 30 | 3,92 | 1 | 390 | 4000 |
| Zona IV. Perf. Elevado CA | 7 | 280 | 30 | 3,92 | 1 | 550 | 4000 |
| Zona IV. Perf. Oficina CA | 7 | 280 | 30 | 3,92 | 1 | 390 | 4000 |
| Zona V. Perf. Residencial CA | 14 | 280 | 30 | 7,84 | 1 | 390 | 4000 |
| Zona V. Perf. Elevado CA | 15 | 280 | 30 | 8,4 | 1 | 550 | 4000 |
| Zona V. Perf. Oficina CA | 15 | 280 | 30 | 8,4 | 1 | 390 | 4000 |

Como ya hemos comentado, las zonas con menos paneles, son las zonas III y IV. Serán las zonas con mejor rendimiento, ya que siendo en todos los casos el panel elegido, el mismo, con una potencia de 280Wp, es el que menor número de paneles necesita.

Las baterías necesitarán una mayor capacidad para el caso de consumo elevado, en todas las zonas.

5.2 CONCLUSIONES FINALES

CONCLUSIONES TÉCNICAS

Se resumen en las siguientes:

- Independientemente de la localización estudiada, todos los sistemas son viables, gracias a la situación geográfica de la península, y su irradiación excepcional.
- El número de paneles depende en gran medida del perfil de irradiación. En los sitios donde el invierno impide el uso normal del sistema, el número de paneles es mayor, y la inversión mayor.
- El autoconsumo aislado puede ser una realidad, a tenor de lo estudiado (menos del 1% de demanda externa).
- El uso y vida de las baterías depende mucho del perfil de consumo. No deben llegar pasar grandes periodos de descarga o acortarán su vida útil. La suficiente irradiación en la península aún en invierno, ayuda a mejorar los ciclos de generación y de carga, limitando los de descarga
- La emisión de CO₂ es bastante más baja que la de un hogar y oficina convencional.

CONCLUSIONES ECONÓMICAS Y SOCIALES

- La venta del excedente es fundamental. La inversión inicial y el pago por autoconsumo planteado en el último RD, hacen inviable el autoconsumo en España.
- Los tiempos de amortización se duplican.
- Las inversiones son moderadas, para todos los casos, y se garantiza la amortización con la venta de excedente.
- La generación de empleo está asegurada, debido a la gran experiencia del sector en España, y la fabricación propia de paneles.

5.3 TRABAJOS FUTUROS

A partir de este proyecto, podemos ampliar el estudio, de modo que podamos estudiar y comparar diferentes modelos de sistemas autónomos.

Así, podemos estudiar sistemas autónomos:

- Que tengan en cuenta los valores exactos de peaje de generación que impone el nuevo borrador de RD, para cada kWh producido.
Con ello podemos cuantificar el efecto que tiene la nueva norma en los sistemas autónomos fotovoltaicos, con casos concretos localizados en nuestro país.
- Sistemas híbridos que tengan en cuenta también otras fuentes alternativas de energía, como la eólica, ya que ésta también es un recurso abundante en nuestra geografía. En este caso habría que estudiar los puntos exactos de la localización, para tener valores altos de generación eólica.
- Sistemas autónomos con generación desde fuentes no renovables, como generadores eléctricos a motor diésel. Con ellos podemos estudiar la viabilidad de sistemas autónomos no conectados a red.
- Podemos estudiar más casos de consumo eléctrico, aplicados en las cinco localizaciones que hemos estudiado.
iHoga aporta gran cantidad de perfiles de consumo, que además son modificables, para adecuarlos a casos concretos.
Esta es la lista de casos de perfiles que muestra iHoga:

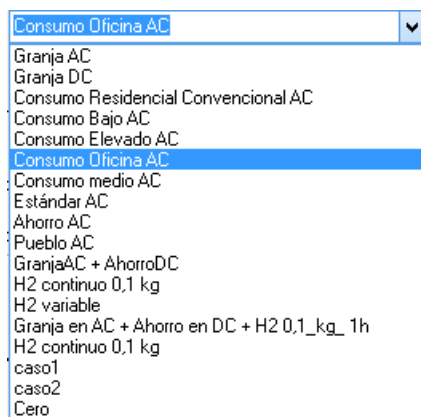


Ilustración 139. Perfiles de consumo en iHoga 2.2

- Casos de estudio con multiobjetivo, donde además del coste y las emisiones de CO₂, **se minimice (no limite) la energía no servida.**



CAPÍTULO 5. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

- f. Casos de estudio con condiciones de carga de baterías más restrictivas, que amplíen la vida útil de las mimas.

La herramienta iHoga 2.2 es muy potente, ya que reúne en un solo programa muchísimas variables que integran todos los aspectos de los sistemas autónomos.

La combinación de los casos indicados arriba también es posible, de modo que obtengamos resultados muy cercanos a los reales, en sistemas autónomos definidos.

REFERENCIAS

TEXTOS

Análisis del autoconsumo en el marco del sector eléctrico español.

Gonzalo Sáenz de Miera. Iberdrola. 2012.

Análisis del Balance Neto Fotovoltaico.

César Arribas, 2012

Autoconsumo distribuido para la gestión de la demanda.

Carlos Montoya. IDAE. 2012.

BP Statical Review of the World Energy 2015

British Petroleum. 2015.

Curso energía solar fotovoltaica y térmica

José González Carrillo. 2012

El Autoconsumo Fotovoltaico previsto en España.

Asociación de la Industria Fotovoltaica. ASIF. 2011.

El sistema eléctrico español: Avance del informe 2011.

Red Eléctrica Española. 2012.

Enabling the european consumer to generate power for self-consumption.

SunEdison. 2011.

Energía Solar Fotovoltaica. Manual técnico para instalaciones domiciliarias

Carlos Orbegoza y Roberto Arivilca. Green Energy Consultoría y Servicios S.L. 2010

Energía Solar Fotovoltaica 2012

SEI Grandes Clientes, Endesa Energía. 2012

Evaluación del Plan Español de Energías renovables 2005-2010

Ministerio de Política Territorial y Administración Pública, Agencia de Evaluación y Calidad, 2011

Evolución tecnológica y prospectiva de costes de las energías renovables. Estudio técnico PER 2011-2020.

IDAE. 2013

Experiencias y oportunidades para el sector eléctrico.

Jornada sobre Generación Distribuida, Autoconsumo y Balance Neto. Endesa. 2012.



Global market Outlook for photovoltaics until 2016.
European Photovoltaic Industry Association. 2012.

iHoga 2.2. Manual de usuario.
Rodolfo Dufo López. Universidad de Zaragoza. 2014

Información básica de los sectores de la energía 2014
Comisión Nacional de los Mercados y la Competencia (CNMC). 2014

La Energía Fotovoltaica conquista el Mercado, Informe Anual 2014
Unión Española Fotovoltaica, 2014

La Energía en España 2013.
Ministerio de Industria, Energía y Turismo. 2013

La Paridad de Red Eléctrica y el Balance Neto
Francisco Laverón. Fundación Ciudadanía y Valores. 2012

Modelos empíricos para la estimación de la radiación solar difusa.
José Ernesto López Velázquez. Universidad Politécnica de Veracruz. 2013

Master en Energías Renovables y Mercado Energético.
Miguel Alonso Abella. CIEMAT. 2012

Plan de Energías Renovables 2011-2020.
Ministerio de Industria, Energía y Turismo. 2011

Photovoltaic Power Systems Programme Annual Report 2014
Photovoltaic Power Systems Programme. 2014

Real Decreto 900/2015, de 9 de octubre, por el que se regulan las condiciones administrativas, técnicas y económicas de las modalidades de suministro de energía eléctrica con autoconsumo y de producción con autoconsumo.
Boletín Oficial del Estado (BOE). 2015

Real Decreto 1699/2011, de 18 de noviembre.
Boletín Oficial del Estado (BOE). 2011

Renovables 2050
Greenpeace. 2005



RECURSOS WEB

Agencia Española de Meteorología (AEMET)

www.aemet.es

Asociación de la Industria Fotovoltaica (ASIF)

www.asif.org

Asociación de Productores de Energías Renovables (APPA)

www.appa.es

Autoconsumo Energético (Blog)

www.autoconsumo-energetico.com

British Petroleum (BP, Web corporative)

<http://www.bp.com/>

Boundless Documentation Resources

www.boundless.com

Catalogo Solar (Web corporativa)

www.catalogosolar.mx

Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Técnicas (CIEMAT),

<http://www.ciemat.es/cargarLineaInvestigacion.do?identificador=1&idArea=1>

Circuitur (Web corporativa)

www.circuitur.es

Colegio Oficial de Ingenieros de Telecomunicaciones de Andalucía Occidental y Ceuta

<http://www.coitaoc.org>

Comisión Europea - Energía

http://ec.europa.eu/priorities/energy-union/index_en.htm

Comisión Nacional de los Mercados y la Competencia

<http://www.cnmc.es/>

Comisión Cambio Climático de las Naciones Unidas

www.unfccc.int

Database of State Incentives for Renewables & Efficiency (DSIRE)

www.dsireusa.org

Departamento de Energía de los EE.UU.

www.energy.gov



Endesa Educa (Obra social Endesa)

<http://www.endesaeduca.com>

Eneragen. Asociación de Agencias Españolas de Gestión de la Eenergía.

<http://www.eneragen.org/>

Energías renovables

www.energias-renovables.com

Energías Renovables en el periódico El País

www.elpais.com/tag/energias_renovables

Energía Verde (Web corporativa)

www.energiaverde.pe

European Photovoltaic Industry Association (EPIA)

www.epia.org

Federación Nacional de Empresarios de Instalaciones Eléctricas y Telecomunicaciones de España (FENIE)

www.fenie.es/inicio.html

Foro Nuclear Español

www.foronuclear.org

Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía (IDAE)

www.idae.es

International Energy Agency (IEA)

www.worldenergyoutlook.org

International Energy Agency – Photovoltaic Power Systems Programme

<http://iea-pvps.org/>

Krannich solar (Web corporativa)

<http://es.krannich-solar.com>

LFN Photovoltaics (Web corporativa)

www.lfnphotovoltaics.com/

Lider Solar (Web corporativa)

<http://www.lidersolar.es>

MacGraw Hill Resources

<http://www.mheducation.es/>

Medioambiente en la Junta de Andalucía

www.juntadeandalucia.es/medioambiente



REFERENCIAS

Ministerio de Industria Energía y Turismo

<http://www.minetur.gob.es/energia/es-ES/Paginas/index.aspx>

Organización No Gubernamental Greenpeace

www.greenpeace.org

Servicios Metereológicos de la NASA

<https://eosweb.larc.nasa.gov/>

Solartronic (Web corporativa)

www.solartronic.com

Sun Fields (Web corporativa)

www.sfe-solar.com/

Tecnum – Universidad de Navarra

www.tecnun.es

Unión Española Fotovoltaica

<http://www.unef.es/>

Wikipedia

<https://es.wikipedia.org/>

ANEXO I – ESTUDIO ENERGÉTICO DE LOS SISTEMAS ÓPTIMOS.

Este anexo muestra las tablas y gráficas obtenidas en el estudio de los casos de sistemas autónomos de la zona I.

Están aquí reflejados para ver cómo son la base de los cálculos de energía generada, consumida y almacenada en las cargas, y que nos permite hacer el seguimiento de las necesidades y consumos del sistema.

Las dos primeras gráficas muestran la simulación de energía de modo anual, tanto generada como almacenada en las baterías. Así como la vendida a la red, y la no suministrada por el sistema. Todos los años, los 25 que dura la simulación, se consideran iguales.

La primera gráfica muestra estos perfiles para un día, y la segunda para todas las horas de un año.

La tercera y la cuarta gráfica muestran la potencia y la energía generada por cada sistema, en sus agregados mensuales.

Podemos así ver el comportamiento, mes a mes, de nuestro sistema. Y compararlo entre perfiles y zonas.

ZONA 1. Perfil de Consumo: Consumo Residencial Convencional AC

La primera gráfica muestra cómo es el perfil de generación, y consumo a lo largo del día. Como es lógico, es mayor la generación en las horas centrales.

Se puede ver la relación con la energía acumulada en la batería y la sobrante.

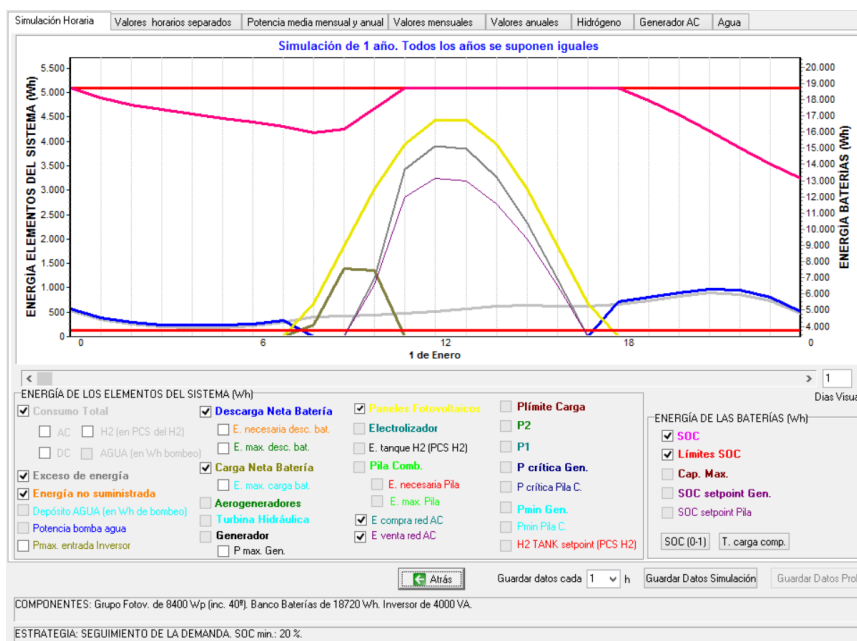


Ilustración 140. Simulación horaria de la energía del sistema. Zona I. Perfil Residencial AC

Todas las gráficas juntas dan una idea del perfil de energía del sistema. La generación es mayor en el verano, coincidiendo con los excesos de energía, y la menor descarga de la batería.

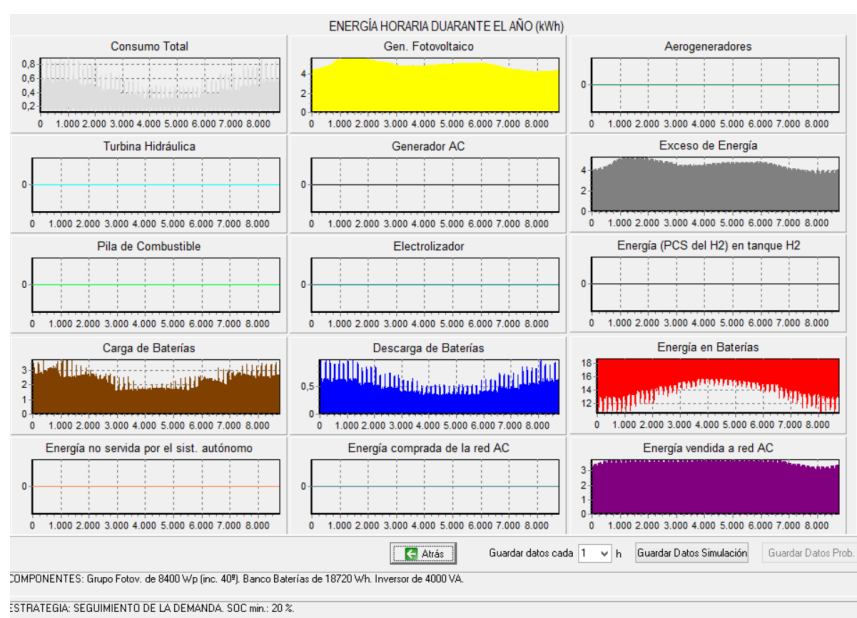


Ilustración 141. Gráficas horarias de la energía generada y consumida. Zona I Perfil Residencial AC

La siguiente tabla aglutina los valores de Potencia mensual media. Son mayores en los meses de marzo a agosto en todos los casos, pues depende de la irradiación.

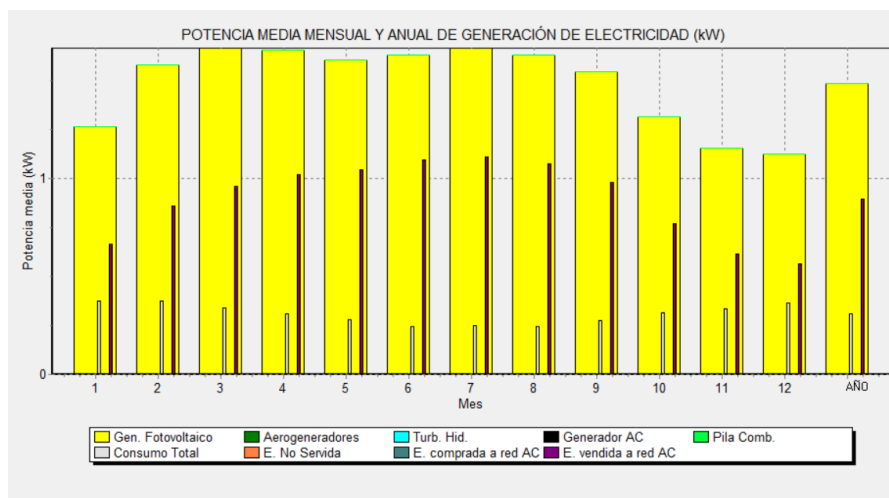


Ilustración 142. Potencia media mensual y generación de electricidad para sistema Zona I. Perfil Residencial AC

Por último vemos las gráficas mensuales de energía por horas. El comportamiento es el mismo, con mayor generación en los meses de verano.

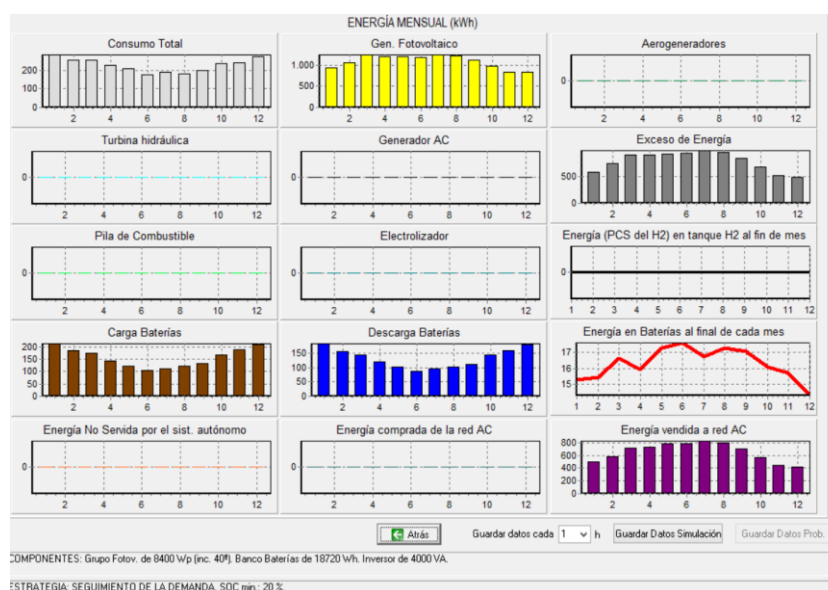


Ilustración 143. Gráficas mensuales de la energía generada y consumida. Zona I Perfil Residencial AC

Las gráficas de los otros dos casos son:

ZONA 1. Perfil de Consumo: Elevado AC

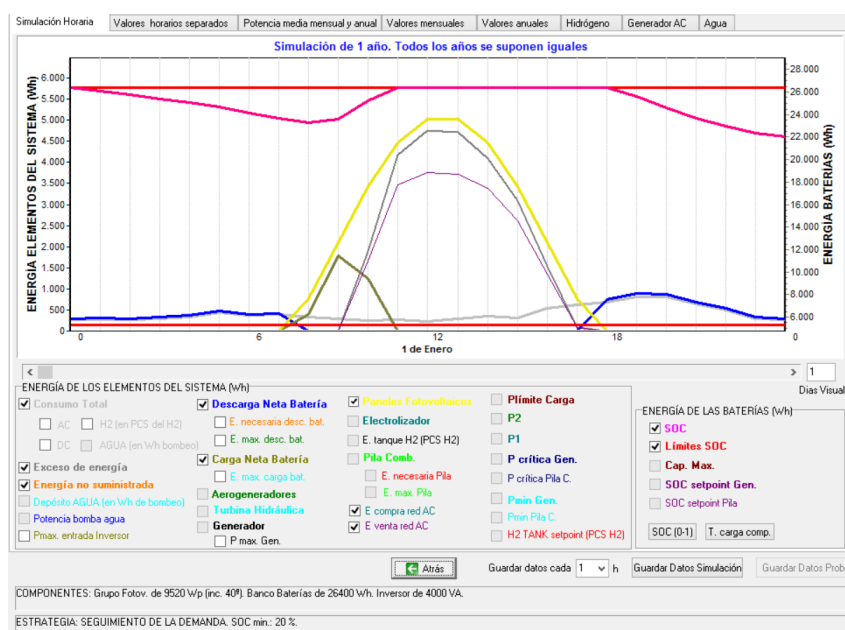


Ilustración 144. Simulación horaria de la energía del sistema. Zona I. Perfil Elevado AC

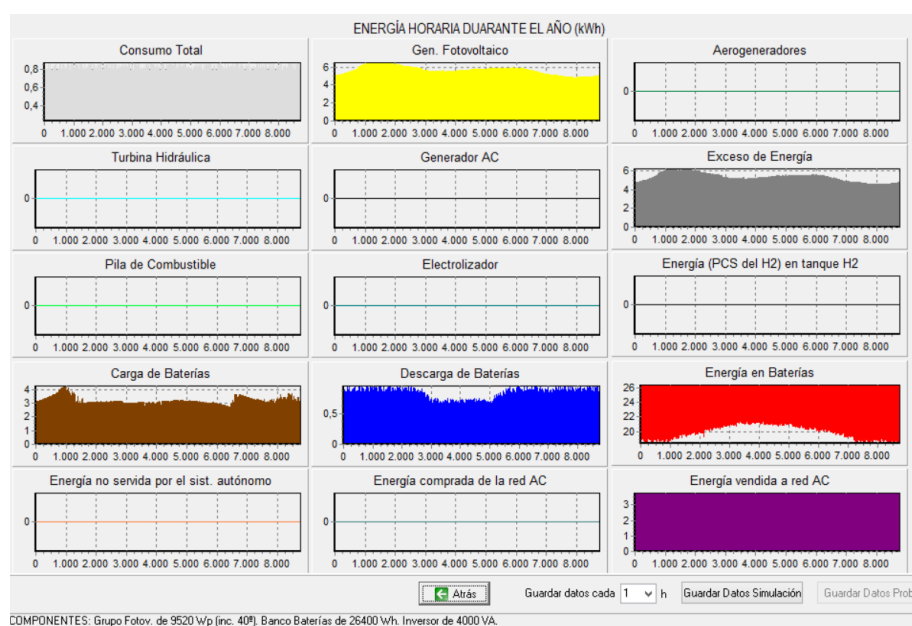


Ilustración 145. Gráficas horarias de la energía generada y consumida. Zona I Perfil Elevado AC

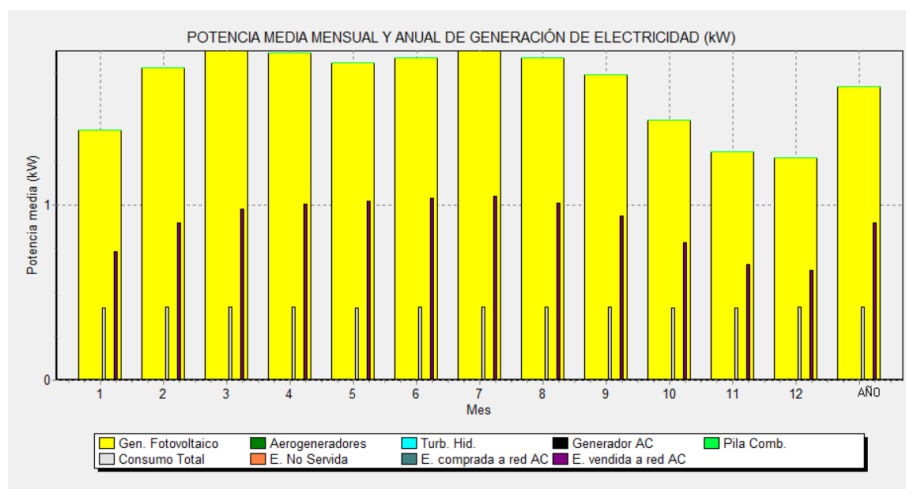


Ilustración 146. Potencia media mensual y generación de electricidad para sistema Zona I. Perfil ElevadoAC

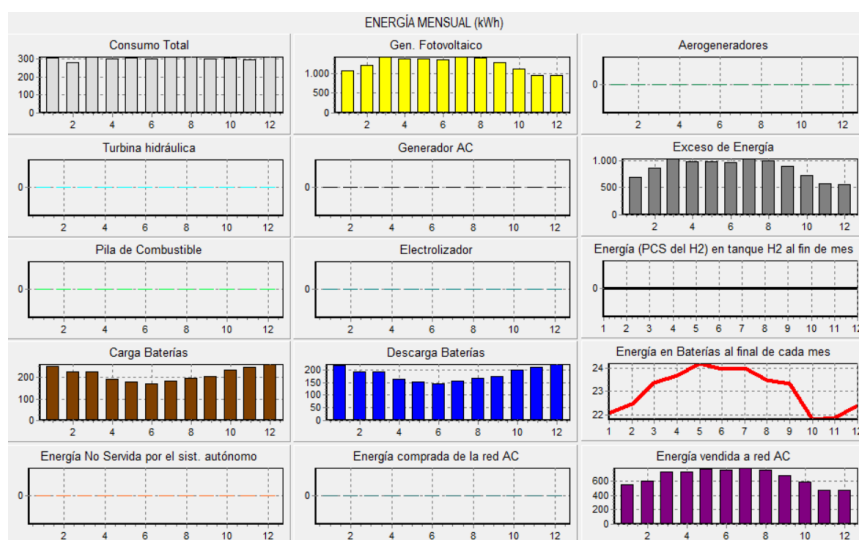


Ilustración 147. Gráficas mensuales de la energía generada y consumida. Zona I Perfil Elevado AC

ZONA 1. Perfil de Consumo: Oficina AC

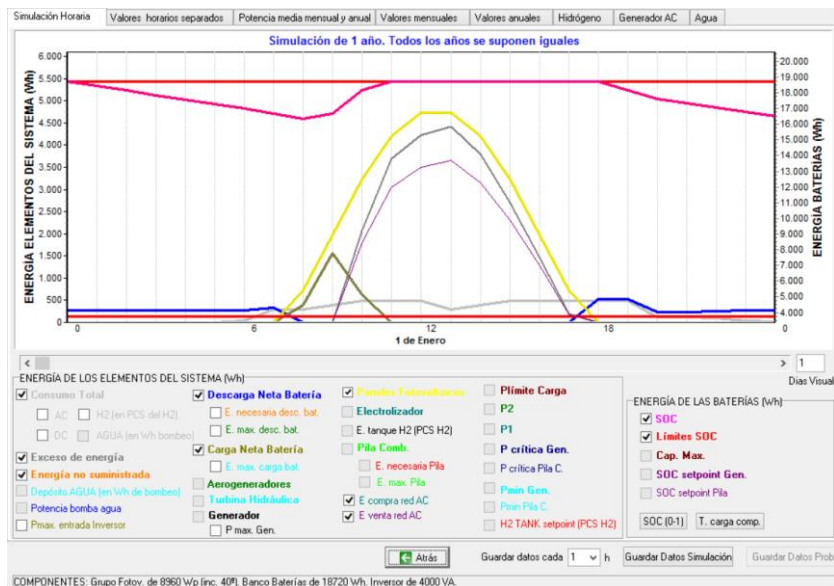


Ilustración 148. Simulación horaria de la energía del sistema. Zona I. Perfil Oficina AC

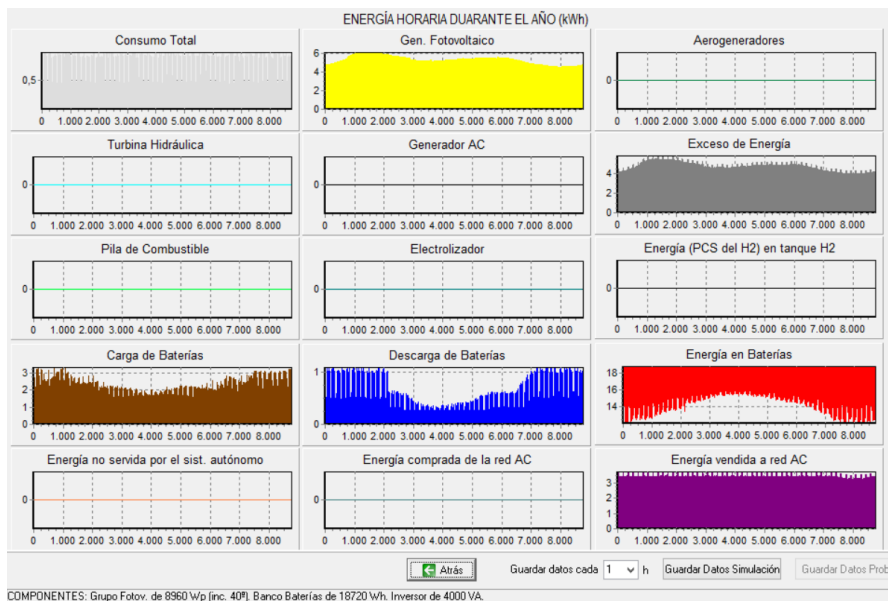


Ilustración 149. Gráficas horarias de la energía generada y consumida. Zona I Perfil Elevado AC

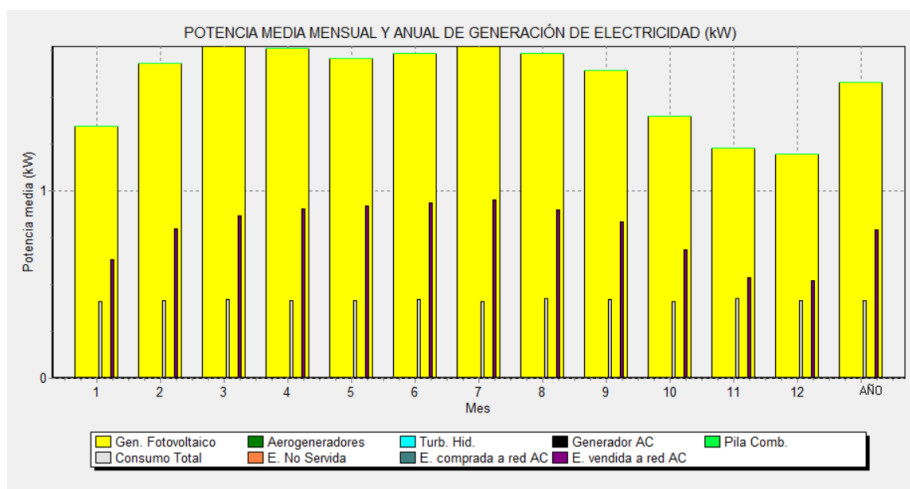


Ilustración 150. Potencia media mensual y generación de electricidad para sistema Zona I. Perfil Oficina AC

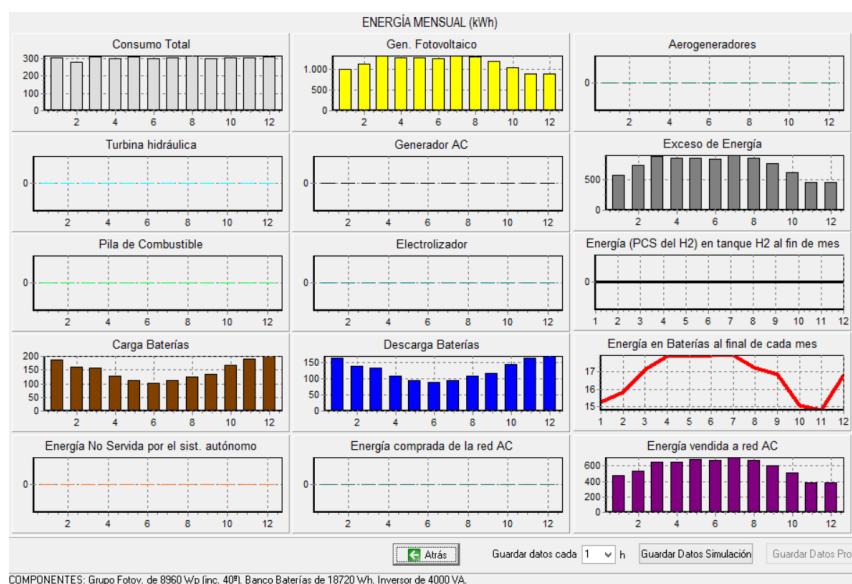


Ilustración 151. Gráficas mensuales de la energía generada y consumida. Zona I Perfil Oficina AC

ANEXO II – MÉTODOS DE OPTIMIZACIÓN EN IHOGA

2.2

iHoga 2.2 permite calcular la combinación óptima de elementos, utilizando dos métodos numéricos:

- Enuméricos
- Algoritmos genéticos

Ambos métodos consiguen optimizar un sistema en base a unas condiciones de entorno, y unos componentes del mismo.

Un **método numérico** es un procedimiento mediante el cual se obtiene, casi siempre de manera aproximada, la solución de ciertos problemas realizando cálculos puramente aritméticos y lógicos (operaciones aritméticas elementales, cálculo de funciones, consulta de una tabla de valores, etc.) Tal procedimiento consiste de una lista finita de instrucciones precisas que especifican una secuencia de operaciones algebraicas y lógicas (algoritmo), que producen una aproximación de la solución del problema (solución numérica). La eficiencia en el cálculo de dicha aproximación depende, en parte, de la facilidad de implementación del algoritmo y de las características especiales y limitaciones de los instrumentos de cálculo (ordenadores). En general, al emplear estos instrumentos de cálculo se introducen errores llamados de redondeo.

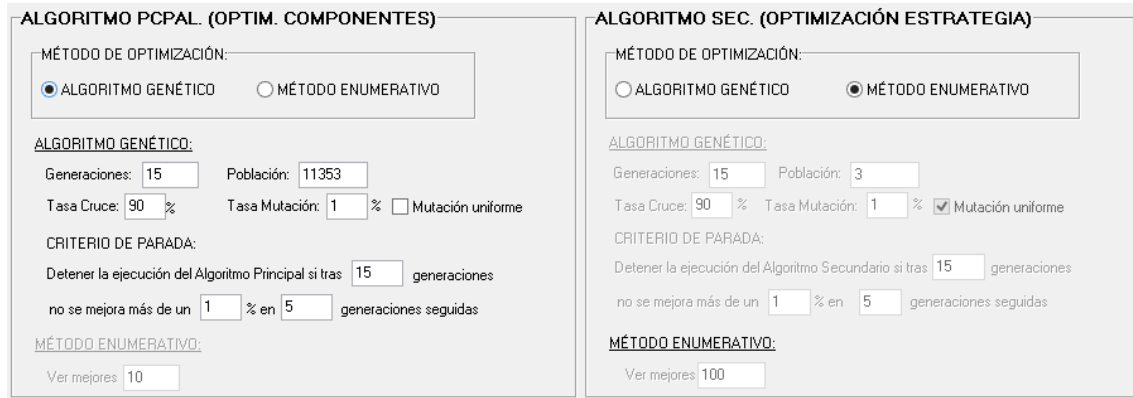
Los algoritmos genéticos, son llamados así porque se inspiran en la evolución biológica y su base genética. Estos algoritmos hacen evolucionar una población de individuos sometiéndola a acciones aleatorias semejantes a las que actúan en la evolución biológica (mutaciones y recombinaciones genéticas), así como también a una selección de acuerdo con algún criterio, en función del cual se decide cuáles son los individuos óptimos, que sobreviven, y cuáles los menos aptos, que son descartados. Los algoritmos genéticos se enmarcan dentro de los algoritmos evolutivos.

Los pasos básicos de un algoritmo genético son:

- Evaluar la puntuación de cada uno de los cromosomas generados (sistemas en iHoga 2.2)
- Permitir la reproducción de los cromosomas siendo los más aptos los que tengan más probabilidad de reproducirse (los óptimos a priori)
- Con cierta probabilidad de mutación, mutar un gen del nuevo individuo generado (realizar combinaciones de componentes del sistema)
- Organizar la nueva población (volver a evaluar las características de los nuevos sistemas resultantes)

En iHoga se utilizan para la optimización de Componentes (Algoritmo Principal) y para la Optimización de la Estrategia (Algoritmo Secundario).

Podemos elegir cuál utilizar en cada algoritmo, en la ventana de Parámetros de Optimización:



| ALGORITMO PCPAL. (OPTIM. COMPONENTES) | ALGORITMO SEC. (OPTIMIZACIÓN ESTRATEGIA) |
|---|--|
| MÉTODO DE OPTIMIZACIÓN: <input checked="" type="radio"/> ALGORITMO GENÉTICO <input type="radio"/> MÉTODO ENUMERATIVO | MÉTODO DE OPTIMIZACIÓN: <input type="radio"/> ALGORITMO GENÉTICO <input checked="" type="radio"/> MÉTODO ENUMERATIVO |
| ALGORITMO GENÉTICO: Generaciones: 15 Población: 11353 Tasa Cruce: 90 % Tasa Mutación: 1 % <input type="checkbox"/> Mutación uniforme | ALGORITMO GENÉTICO: Generaciones: 15 Población: 3 Tasa Cruce: 90 % Tasa Mutación: 1 % <input checked="" type="checkbox"/> Mutación uniforme |
| CRITERIO DE PARADA: Detener la ejecución del Algoritmo Principal si tras 15 generaciones no se mejora más de un 1 % en 5 generaciones seguidas | CRITERIO DE PARADA: Detener la ejecución del Algoritmo Secundario si tras 15 generaciones no se mejora más de un 1 % en 5 generaciones seguidas |
| MÉTODO ENUMERATIVO: Ver mejores: 10 | MÉTODO ENUMERATIVO: Ver mejores: 100 |

Ilustración 152. Ventana de Parámetros de Optimización

Para el algoritmo genético, podemos variar el número de generaciones (las veces que se implementa el algoritmo de modo reiterativo sobre los resultados de cada generación), así como las tasas de variación (cruce y mutación).

El algoritmo parará cuando no encuentre mejoras en las 5 últimas generación, tras un mínimo de 15. Estos parámetros también son modificables.

ANEXO III – ANÁLISIS ECONÓMICO

Cada sistema óptimo tiene asociado un perfil económico, que evalúe el coste de los elementos del mismo, la financiación, los ingresos por venta de electricidad, etc.

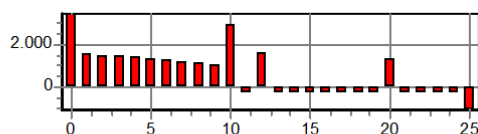
Aquí está el informe económico del sistema óptimo de la Zona I, perfil Residencial:

Proyecto: 1 RE AC.hoga. Config. nº 0

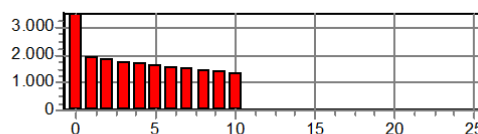
Coste total (VAN): 16490 € (0,24 €/kWh). Coste inicial de la inversión: 17494,8 €. Préstamo del 80 %, cuota anual: 1992,7 €.

Distribución costes (VAN). ROJO: costes de adquisición, reemplazamiento e ingresos por venta final. AZUL: O&M. Moneda: €

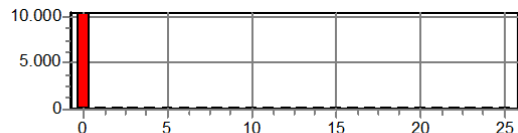
Coste total (VAN): 16490 €



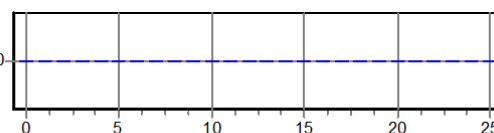
Coste financiación inicial (VAN): pago inicial + cuotas préstamo: 19661,4



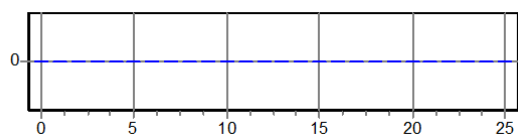
Coste total Gen. Fotovoltaico (VAN): 13344 €



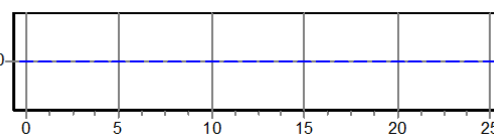
Coste total Aerogeneradores (VAN): 0 €



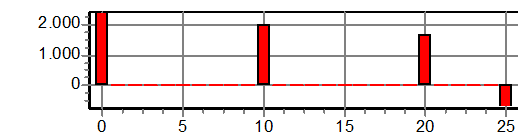
Coste total Turb. Hidr. (VAN): 0 €



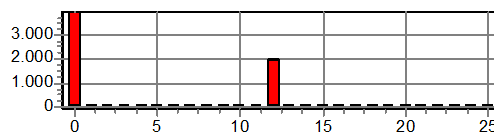
Coste total Generador AC (VAN): 0 €



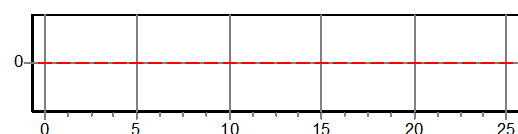
Coste total Inversor (VAN): 5265,5 €



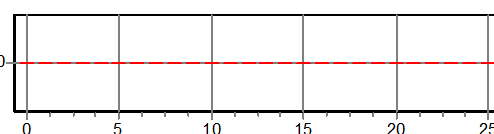
Coste total Banco Baterías (VAN): 7597,5 €



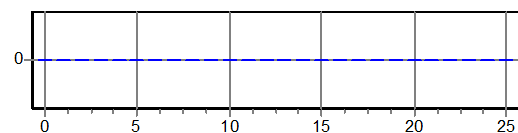
Coste total Reg. Carga (VAN): 0 €



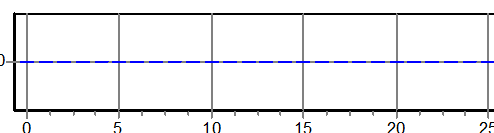
Coste total Rectificador (VAN): 0 €



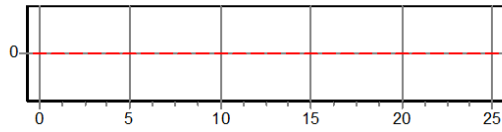
Coste total Electrolizador (VAN): 0 €



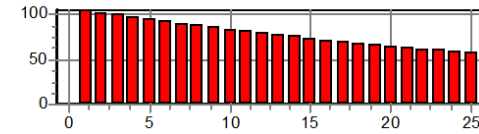
Coste total Pila Comb. (VAN): 0 €



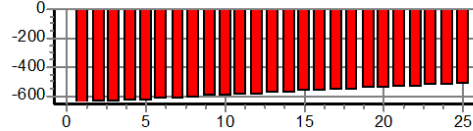
Coste total combustible Pila Comb. (VAN): 0 €



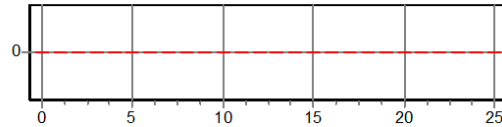
Coste compra E red AC (VAN): 1983,1 €



Ingresos venta E red AC (VAN): -14503,9 €



Ingresos venta H2 (VAN): 0 €



Podemos ver la amortización de la inversión inicial, ver como se reduce la dependencia de la red AC, así como se reducen los beneficios por venta de electricidad por la bajada normal de precios, inflación, etc. En total, cómo se desarrolla la mejora económica que plantea el sistema en 25 años.

El VAN (Coste total del sistema) se calcula a partir de la suma de la distribución anual de costes que hemos estudiado en este anexo.